

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**THIAGO DE ANDRADE PINTO**

**INSPEÇÃO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO DE ALTA TENSÃO  
EM LOCAIS DE DIFÍCIL ACESSO: UM ESTUDO COMPARATIVO ENTRE O  
MÉTODO TERRESTRE E AÉREO POR MEIO DE VANT**

**CURITIBA  
2022**

**THIAGO DE ANDRADE PINTO**

**INSPEÇÃO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO DE ALTA TENSÃO  
EM LOCAIS DE DIFÍCIL ACESSO: UM ESTUDO COMPARATIVO ENTRE O  
MÉTODO TERRESTRE E AÉREO POR MEIO DE VANT**

**High Voltage Transmission Lines Inspection in Difficult Access Place: a  
comparative study between the foot patrol and UAV-based patrol**

Trabalho de Conclusão de Curso de  
Graduação apresentado como requisito para  
obtenção do título de Bacharel em  
Engenharia Elétrica do curso de Engenharia  
Elétrica da Universidade Tecnológica Federal  
do Paraná (UTFPR).

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Rodrigues.

**CURITIBA  
2022**



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

**THIAGO DE ANDRADE PINTO**

**INSPEÇÃO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO DE ALTA TENSÃO  
EM LOCAIS DE DIFÍCIL ACESSO: UM ESTUDO COMPARATIVO ENTRE O  
MÉTODO TERRESTRE E AÉREO POR MEIO DE VANT**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica do curso de Engenharia Elétrica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Rodrigues.

Data de aprovação: 22 de novembro de 2022

---

Professor Dr. Marcelo Rodrigues  
Orientador  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) – Curitiba

---

Professor Dr. Carlos Henrique Mariano  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) – Curitiba

---

Professor Dr. Emerson Rigoni  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) – Curitiba

**CURITIBA  
2022**

## AGRADECIMENTOS

Minhas palavras iniciais de agradecimento serão oferecidas a todas as Universidades Públicas no Brasil, em especial a UTFPR, pelo papel primordial de inclusão dos jovens (e não tão jovens como eu!), permitindo hoje que o filho(a) de um trabalhador(a) possa acessar suas dependências para obter conhecimento. Algo inimaginável a poucos anos atrás, inclusive para mim.

Estar redigindo estas palavras só foi possível pelo amor, carinho, dedicação, compreensão e muita, mas muita paciência da minha esposa Sirlei e de meus filhos Gabriel e Bernardo. Que suportaram o meu *stress*, o cansaço e a falta de tempo (alguns domingos sacrificados) para vencer os conteúdos durante os anos de graduação. Resumindo, não tenho como agradecê-los com palavras, apenas: AMO VOCÊS.

Agradeço a todos os professores(as) que compartilharam seus conhecimentos durante a graduação, superaram as adversidades do período de pandemia, e rapidamente se adaptaram ao novo tempo. Não foi fácil, mas superaram com êxito o desafio!

Não posso deixar de agradecer também, a todos os profissionais de linhas de transmissão com os quais fiz contato ao longo desta pesquisa e gentilmente compartilharam da experiência na área de transmissão de energia. E a todos que responderam ao questionário, e assim contribuíram para a conclusão deste trabalho.

“Os homens fazem sua própria história, mas não a fazem sob circunstâncias de sua escolha e sim sob aquelas com que se defrontam diretamente, legadas e transmitidas pelo passado” (MARX, 2011)

## RESUMO

O presente trabalho visa ampliar o debate sobre as técnicas de inspeção em linhas de transmissão por meio de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) comparando ao método terrestre de inspeção. A demanda dos sistemas elétricos de potência por uma maior eficiência, faz com que a transmissão de energia elétrica busque reduzir as ocorrências por perturbação e evite as interrupções de transmissão. Atualmente por meio dos leilões realizados pela ANEEL a empresa que deter a concessão de uma linha de transmissão tem imensas responsabilidades pelo ativo, portanto zelar e garantir a operação são pontos fundamentais. A manutenção destes ativos é requisito listado em lei, no caso das linhas de transmissão, a inspeção é algo obrigatório das concessionárias ou permissionárias realizarem. Neste sentido, o aprimoramento das técnicas pode garantir mais eficiência. Por meio de VANT, as transmissoras e distribuidoras podem reduzir os riscos de acidentes de trabalho, melhorar o rendimento homem/hora por inspeção e elevar a qualidade das informações colhidas na atividade, principalmente quando se tratar de locais de difícil acesso, nos quais se encontram boa parte das linhas de transmissão. Nesta pesquisa, por meio de uma análise teórica foi possível comparar os métodos terrestres e aéreo (com VANT), apresentando as potencialidades e dificuldades de cada método em três dimensões: humana, técnico-econômica e ambiental. Por fim, através de uma pesquisa de campo, um questionário foi aplicado aos profissionais de linhas de transmissão. E o resultado ratificou o estudo teórico, reforçando os potenciais da inspeção de linhas de transmissão por VANT (redução de acidentes, redução no tempo de inspeção melhora na qualidade das inspeções). Mas, o questionário também trouxe pontos que dificultam a inspeção por meio de VANT, como a baixa autonomia das baterias dos drones e a dificuldade no tratamento das informações (principalmente de imagens) no pós inspeção.

Palavras chave: Linhas de Transmissão, inspeção, terrestre e VANT

## **ABSTRACT**

The present work aims to broaden the debate on inspection techniques in transmission lines using Unmanned Aerial Vehicles (UAV). The purpose of electric power systems is to have efficiency, it makes the transmission of electric energy seek to reduce the occurrences of disturbance and avoid transmission interruptions. Currently, through the auctions carried out by ANEEL, the company that holds the concession of a transmission line is responsible for the assets, so care and guarantee the operation are fundamental points. The maintenance of these assets is a legal requirement, in the case of transmission lines, inspection is mandatory for concessionaires or permissionaires to carry out. In this sense, the improvement of techniques can guarantee more efficiency. Through UAV, energy companies can reduce the risk of accidents at work, improve man-hour performance per inspection and increase the quality of information collected in the activity, especially when dealing with difficult access place, where they are most transmission lines. In this research, through a theoretical analysis, it was possible to compare foot patrol and UAV based patrol, presenting the strengths and difficulties of each method in three dimensions: human, technical-economic and environmental. Finally, through field research, a questionnaire was applied to transmission line professionals. And the result ratified the theoretical study, reinforcing the potential of inspection of transmission lines by UAV (reduction of accidents, reduction in inspection time, improvement in the quality of inspections). But the questionnaire also brought up points that make it difficult to inspect using UAVs, such as the low autonomy of drone batteries and the difficulty in processing information (mainly images) in the post-inspection period.

Keywords: Transmission Lines, inspection, foot patrol and UAV based patrol.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1 - Mapa do Sistema de Transmissão - Horizonte 2024</b> .....	14
<b>Figura 2 - Fluxograma do protocolo de pesquisa</b> .....	18
<b>Figura 3 - Cabo de alumínio nu com alma de aço (CAA/ACSR)</b> .....	22
<b>Figura 4 - Isolador para LT de alta tensão em Vidro Temperado</b> .....	23
<b>Figura 5 - Isolador para LT de alta tensão em Porcelana</b> .....	24
<b>Figura 6 - Isolador Polimérico para LT de AT</b> .....	24
<b>Figura 7 - Grampo de suspensão tipo Cushion Grip</b> .....	25
<b>Figura 8 - Exemplo de estrutura estaiada e autoportante</b> .....	26
<b>Figura 9 - Ilustração de Faixa de Servidão</b> .....	28
<b>Quadro 1 - Técnicas de Inspeção por componentes em LT</b> .....	31
<b>Figura 10 - Termografia em LT</b> .....	34
<b>Figura 11 - Inspeção com VANT em LT</b> .....	36
<b>Figura 12 - Inspeção de LT em LDA: terrestre e por VANT</b> .....	40
<b>Figura 13 - Cabo danificado por espaçador</b> .....	43
<b>Figura 14 - Cabo OPGW danificado por descarga atmosférica</b> .....	43
<b>Figura 15 - Espaçador danificado</b> .....	44
<b>Figura 16 - Corrosão nos pinos de sustentação das cadeias de isoladores</b> ....	45
<b>Figura 17- Cadeia de isoladores de vidro danificada por vandalismo</b> .....	45
<b>Figura 18 - Isolador polimérico contaminado por fungos</b> .....	46
<b>Figura 19 - Uso da faixa de servidão para lavouras com plantação de eucaliptos próximo a LT</b> .....	47
<b>Figura 20 - Construções irregulares sob LT</b> .....	47
<b>Figura 21 - Incêndio em faixa de servidão próximo a torres</b> .....	48
<b>Figura 22 - Corrosão nas treliças da estrutura de sustentação</b> .....	49
<b>Figura 23 - Erosão em base de torre de transmissão</b> .....	49
<b>Figura 24 - Furto de peças metálicas da estrutura</b> .....	50
<b>Quadro 2 - Dimensão Humana</b> .....	51
<b>Quadro 3 - Dimensão Técnico-Econômica</b> .....	54
<b>Figura 25 - Uso de espelho côncavo para inspeção de isoladores.</b> .....	56
<b>Figura 26 - Imagem coletada por um VANT a 1,5m do isolador.</b> .....	56
<b>Figura 27 - Uso do positron para detecção de defeitos em cadeias de isoladores</b> .....	57
<b>Figura 28 - Detecção de defeitos em isoladores através da análise do campo elétrico.</b> .....	57
<b>Quadro 4 - Dimensão Ambiental</b> .....	58
<b>Gráfico 1 - Tempo de Experiência em manutenção de LT</b> .....	62
<b>Gráfico 2 - Distribuição das respostas sobre a importância do VANT - Geral</b> ...	66
<b>Gráfico 3 - Distribuição das respostas sobre a importância do VANT - Alta Tensão</b> .....	67
<b>Gráfico 4 - Distribuição das respostas sobre as dificuldades do VANT - Geral</b>	69
<b>Gráfico 5 - Distribuição das respostas sobre as dificuldades do VANT - Alta Tensão</b> .....	70
<b>Quadro 5 - Comentários: autonomia das baterias do VANT</b> .....	71
<b>Quadro 6 - Comentários: redução no tempo, LDA e qualidade da inspeção</b> .....	71
<b>Quadro 7 - Comentários: tratamento das informações coletadas pelo VANT</b> ...	72

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1 - Quantidade de mortes, acidentes e taxa de letalidade ocasionada por exposição à energia elétrica nos empregadores típicos do setor elétrico .....</b>	<b>53</b>
<b>Tabela 2 - Distribuição dos questionários por região .....</b>	<b>62</b>
<b>Tabela 3 - Relação entre nível de tensão da LT e participação em inspeções ..</b>	<b>63</b>
<b>Tabela 4 - Determinação dos LDA .....</b>	<b>64</b>

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANAC	Agência Nacional de Aviação Comercial
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CNAE	Classificação Nacional de Atividades Econômicas
CIGRE	Conselho Internacional de Grandes Sistemas Elétricos
DEC	Duração Equivalente de Interrupção
DECEA	Departamento de Controle do Espaço Aéreo
DIT	Demais Instalações de Transmissão
ETI	Equipamentos para Tecnologia da Informação
FEC	Frequência Equivalente de Interrupção
IA	Inteligência Artificial
IEEE	Instituto de Engenheiros Eletrônicos e Eletricistas
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
LDA	Local de Difícil Acesso
LT	Linha de Transmissão
NBR	Norma Brasileira
NR	Normas Regulamentadoras
OACI	Organização de Aviação Civil Internacional
ONS	Operador Nacional do Sistema
SEP	Sistema Elétrico de Potência
SIN	Sistema Interligado Nacional
VANT	Veículo Aéreo Não Tripulado

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
1.1 Delimitação do Tema .....	14
1.2 Problema e Premissas .....	14
1.3 Objetivos .....	16
1.3.1 Objetivo Geral .....	16
1.3.2 Objetivos Específicos .....	16
1.4 Justificativa .....	17
1.5 Metodologia da Pesquisa .....	17
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>20</b>
2.1 Linhas de Transmissão de Alta Tensão .....	20
2.2 Composição das LT .....	21
2.2.1 Cabos condutores e cabos de proteção .....	21
2.2.2 Isoladores e ferragens .....	23
2.2.3 Estrutura de sustentação dos cabos .....	25
2.2.4 Faixa de Segurança de uma LT .....	27
2.3 Técnicas de Inspeção em LT .....	29
2.4 Termografia em LT .....	33
2.5 Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) .....	34
<b>3. INSPEÇÃO EM LT EM LDA: COMPARAÇÃO ENTRE MÉTODO TERRESTRE E AÉREO POR MEIO DE VANT .....</b>	<b>38</b>
3.1 Inspeção de LT em LDA .....	41
3.2 Comparação Entre os Métodos de Inspeção: Terrestre e por meio de VANT .	50
3.2.1 Dimensão Humana .....	51
3.2.2 Dimensão Técnico-Econômica .....	53
3.2.3 Dimensão Ambiental .....	58
<b>4. ANÁLISE E DISCUSSÕES COM BASE NO QUESTIONÁRIO APLICADO .....</b>	<b>61</b>
4.1 Análise Quantitativa das Questões: .....	65
4.1.1 A importância do VANT durante as inspeções em LT de alta tensão .....	65
4.1.2 As dificuldades do uso da tecnologia do VANT durante as inspeções em LT .....	68
4.1.3 Comentários e sugestões .....	70
<b>5. CONCLUSÃO .....</b>	<b>74</b>
5.1 Sugestão de Trabalhos Futuros .....	75

<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>76</b>
<b>APENDICE A – Questionário de pesquisa.....</b>	<b>84</b>
<b>APENDICE B – Resultado bruto do questionário .....</b>	<b>91</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O crescimento econômico de um país passa inevitavelmente pelo desenvolvimento do setor elétrico, ou seja, em função da elasticidade renda do consumo de energia elétrica, o aumento do PIB determina a demanda de energia elétrica (FINKLER, 2016). Um modo eficaz de garantir tais premissas constitui-se na formatação de um grande sistema interligado capaz de conectar geração e consumo em uma grande malha, formando o chamado Sistema Elétrico de Potência (SEP) (BICHELS, 2018).

Além da segurança e da confiabilidade, outra vantagem de um sistema interligado é integração das fontes de geração deste sistema com a otimização do uso dos reservatórios das hidrelétricas, com a geração em usinas onde existem maiores reservatórios ou maior afluência nos rios, conjuntamente com termelétricas de maior custo resultando, desta forma, no menor custo para a energia gerada (BICHELS, 2018).

Constituir tal sistema implica em um parque de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica composto por milhares de equipamentos que necessitam de atenção especial, principalmente em relação ao planejamento de manutenção (ANEEL, 2019). Dependendo da magnitude da falha no sistema interligado é possível deixar milhões de pessoas sem energia elétrica, provocando graves consequências sociais e econômicas. Portanto, um SEP está sujeito a intempéries, sobretudo climáticas, como descargas atmosféricas, vendavais, inundações e queimadas. Nesta direção, Bichels (2018) alerta que o sistema precisa de redundância, assim como demais mecanismos de proteção, os quais podem ser manobrados e assim evitar que interrupções ocorram, e se ocorrerem que a religação seja o mais rápido.

No entanto, o sistema pode sofrer com falhas, sejam elas provenientes da depreciação do tempo, vandalismo, sobreaquecimento, fora do ponto ótimo de operação, entre outras. Neste sentido, é fundamental que os sistemas de geração, transmissão e distribuição tenham uma manutenção planejada capaz de se antecipar e agir preventivamente. Assim evita-se interrupções no fornecimento de energia elétrica.

A organização do sistema elétrico brasileiro, no que tange a geração,

transmissão e distribuição é regulamentada pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Cada concessionária que detenha um contrato de prestação de serviço em algumas destas áreas, é monitorada e cobrada por altos níveis de disponibilidade. Para as concessionárias que detêm o direito na área de Transmissão o desafio é maior, pela exposição e dimensões que são alcançadas. Conforme dados do Operador Nacional do Sistema (ONS) o Sistema Interligado Nacional (SIN) com uma malha de 145.600 Km de extensão, distribuídos entre tensões de 750, 500, 440, 345, e 230 kV (alternada) e 600 kV (contínuo) (ONS, 2021a).

As Linhas de Transmissão (LT) são responsáveis, em média, por 70% da origem das perturbações envolvendo a Rede Básica, como dito anteriormente por sua maior exposição em relação aos demais componentes do sistema elétrico (ONS, 2021b). Outro dado relevante fornecido pelo Operador Nacional do Sistema, via Cadernos de Resultados de Operação, do total de perturbações em LT no ano de 2018, 10% das falhas ocorreram em equipamentos e acessórios, em um cenário que aproximadamente 60% das falhas é por condições climáticas, queimadas e vegetação, pontos de difícil controle e atuação. Portanto, a efetividade da manutenção preventiva dos equipamentos que compõem as LT é impactante na produtividade da concessionária.

Manutenção preventiva em LT ocorre principalmente por meio de inspeções nos equipamentos que a constituem (FUCHS, 1977)<sup>1</sup>: cabos condutores, isoladores e ferragens, estruturas das linhas de transmissão e cabos para-raios. No entanto, é um trabalho penoso, seja ele feito *in loco*, por meio de aeronaves tripuladas ou mais recentemente por aeronaves não tripuladas (drones), cada um dos métodos apresenta seus riscos, custos e ganhos (FONTANARI, 2011).

Como a principal ferramenta de manutenção preventiva para os equipamentos que compõem as LT é a inspeção. Tal procedimento, pode ser feito: por operadores que percorrem a pé longos trechos das linhas com câmeras para avaliar os dispositivos em questão, por meio de escalada nas torres de transmissão, utilizando helicópteros para coleta de imagens, principalmente em locais de difícil acesso, e recentemente, com o avanço da tecnologia, por meio de drones (veículo aéreo não

---

<sup>1</sup> O professor Rubens Dario Fuchs, faleceu em 2002, mas seu livro “Transmissão de Energia Elétrica” é considerado uma referência essencial sobre este tema em língua portuguesa. Mesmo passadas duas décadas da sua edição, a teoria sobre projetos de LT segue condizente com o manual do professor Fuchs.

tripulado – VANT).

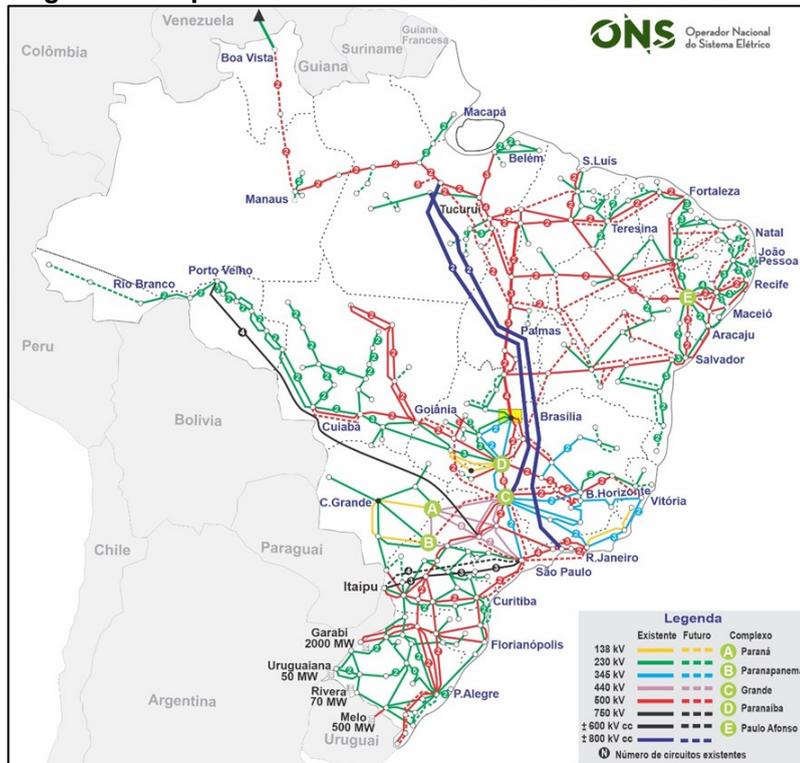
### 1.1 Delimitação do Tema

Tendo em consideração que a manutenção preventiva da linha de transmissão ocorre principalmente pelo método de inspeção, cuja a execução pode ocorrer de diferentes formas, a presente pesquisa está focada em identificar, comparar e apresentar as potencialidades e dificuldades para a inspeção de linhas de transmissão em áreas consideradas de difícil acesso por meio da utilização de VANT.

### 1.2 Problema e Premissas

Observa-se Brasil, o quanto a geração e energia avança para o interior do país, o que demanda a implantação de LT cada vez mais longas para garantir o escoamento desta energia para o SIN. Basta observar na figura 1 a linha de interligação Norte-Sul, entre Samambaia em Brasília e Imperatriz no Maranhão, com mais de 1.000 km de extensão, irá auxiliar na transmissão da energia produzida pelas Usinas de Belo Monte e Tucuruí.

**Figura 1 – Mapa do Sistema de Transmissão - Horizonte 2024**



Fonte: ONS (2022)

Como o Brasil é composto por uma diversidade de biomas e devido as dimensões continentais composta por diversos planaltos, relevos e serras, ou seja, uma ampla gama de diversidade de ambientes, os projetos de LT devem se submeter a tais desafios, o que implica em instalar estruturas em locais de difícil acesso, como em serras e mata fechadas por exemplo. Além de em alguns casos, transpor ambientes de preservação ambiental, como unidades de preservação e/ou áreas de proteção ambiental.

Vencidas todas as etapas legais de licenças ambientais para a construção de LT, após a entrada em operação das mesmas, é necessário manter um plano de inspeção (ANEEL, 2019). Por isso, cabe as concessionárias de energia elétrica garantir as inspeções e manutenções destes ativos. As empresas transmissoras (que operam LT acima de 230kV dentro do SIN) e as distribuidoras (que operam LT em alta tensão abaixo de 230kV) são monitoradas e passíveis de multas impostas por perturbações que provoquem a interrupção da transmissão de energia.

Sabe-se que a melhor ferramenta de manutenção para linhas de transmissão é a inspeção, que consiste em averiguar as condições dos equipamentos que compõe uma LT e assim detectar defeitos ou falhas e prover a reparação imediata ou programada (ANEEL, 2019). Neste sentido, como as concessionárias podem melhorar a qualidade e eficiência das inspeções nas LT por meio de um VANT, considerando os locais de difícil acesso (LDA) nos quais muitas LT estão instaladas? Sabendo dos riscos presentes nesta atividade, como a tecnologia do VANT pode aliviar ou substituir o trabalho humano afim de evitar exposição a riscos como altura, alta tensão ou até mesmo a outras intempéries que uma mata fechada pode oferecer aos seres humanos? É possível desenvolver uma análise quantitativa e qualitativa dos dados coletados nas inspeções de LT através de VANT que possa subsidiar a equipe de engenharia de manutenção no planejamento de manutenções programadas ou planejadas? Diante destas questões, como saber se o drone é uma ferramenta eficaz nas inspeções de linhas de transmissão de alta tensão (LTAT) em locais de difícil acesso (LDA)?

Com estas premissas, e com o desenvolvimento da tecnologia do VANT, com capacidade de carga elevada e com autonomia de voo elevada, as equipes de manutenção de LT podem ter em mãos uma ferramenta capaz de aferir fotos de pontos antes inalcançáveis pelo método da escalada. Com isso, pode-se deixar de

expor trabalhadores a determinados riscos na operação. Além da possibilidade de acoplar câmeras de alta resolução ou até mesmo câmeras térmicas, que permitam a coleta de imagens de pontos de saturação nas linhas. Tamanha diversidade de opções é natural considerar a redução significativa no tempo das inspeções e o aumento de sua produtividade.

Por outro lado, a qualificação dos operadores destes drones é um ponto determinante para a eficácia das inspeções. Saber operar o dispositivo e saber o que buscar durante o voo, quais pontos fotografar, garantir a integridade dele, das pessoas próximas, do equipamento e da rede, são todas situações que necessitam ser desenvolvidas. O volume de informações, principalmente de imagens, que uma inspeção com VANT pode agregar, como e com quais recursos o departamento de manutenção da concessionária irá necessitar e/ou utilizar para tratar destas informações.

Por fim, as restrições e regulamentações impostas pela Agência Nacional de Aviação Comercial (ANAC) para a utilização de VANT.

### 1.3 Objetivos

#### 1.3.1 Objetivo Geral

Apresentar o potencial da inspeção em linhas de transmissão de alta tensão em locais de difícil acesso, por meio da utilização de veículos aéreos não tripulados.

#### 1.3.2 Objetivos Específicos

- Comparar o método de patrulha de inspeção terrestre (inspeção visual com auxílio de câmeras e binóculos e inspeção por escalada) e o método de inspeção aérea por meio da utilização de um VANT em locais de difícil acesso;
- Apresentar as principais vantagens e desvantagens de cada método a partir de três dimensões: humanas, técnico-econômica e ambiental.
- A partir da aplicação de um questionário, coletar as opiniões de profissionais envolvidos com a atividade de inspeção de LT, que já utilizam o drone na monitoração das linhas. Desta forma será possível verificar se a percepção dos profissionais é condizente com resultados encontrados a partir da pesquisa

bibliográfica realizada.

#### 1.4 Justificativa

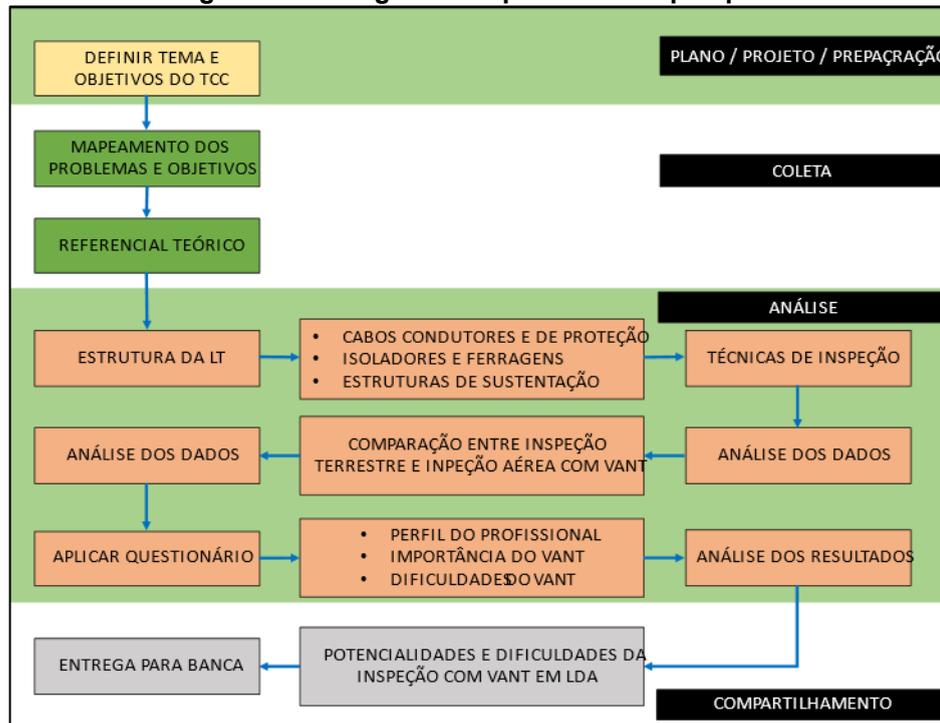
Fomentar a discussão em torno de uma ferramenta tecnológica, ainda incipiente, acredito que é uma forma de contribuir para o desenvolvimento do setor elétrico. Por mais que existam concessionárias operando VANT, o uso da ferramenta não é uniforme. Inclusive, através de contato com gestores de manutenção de concessionárias de transmissão, pode-se observar que algumas empresas já estão em um nível mais avançado nas inspeções com VANT, obtendo maior produtividade. Outras, porém, ainda estão instruindo as primeiras equipes no manuseio dos equipamentos.

Face a necessidade de um sistema elétrico que possa atender os consumidores de maneira eficaz, faz-se necessário planejamento e investimento em manutenção preventiva que visem reduzir o número de interrupções e aumentem a confiabilidade do sistema.

#### 1.5 Metodologia da Pesquisa

Trata-se de uma pesquisa aplicada de caráter explicativo e descritivo de natureza teórica ilustrativa utilizando como procedimento uma pesquisa bibliográfica e aplicação de um questionário direcionado a profissionais que atuam na manutenção de LT de alta tensão. Com o objetivo de estruturar e demonstrar as etapas que serão desenvolvidas ao longo do trabalho, este protocolo de pesquisa define a conduta adotada na organização do estudo, desde sua formulação até o alcance dos objetivos e apresentação dos resultados de acordo com a figura 2.

**Figura 2 - Fluxograma do protocolo de pesquisa**



Fonte: Autoria própria (2022)

A pesquisa bibliográfica abrangerá textos e informações recolhidas, em literatura, em artigos, dissertações e/ou teses disponíveis fisicamente ou em meios digitais. Consulta às bases de dados disponíveis em plataformas como: CAPES, IEEE Ixplorer e CIGRE além de material proveniente de seminários temáticos e das próprias concessionárias de energia elétrica. O intuito é compilar uma gama de conhecimentos teóricos sobre assunto. Com a aplicação do questionário, o intuito é coletar a percepção dos respondentes acerca da efetividade da tecnologia VANT no dia a dia, ou seja, se a práxis se confirma.

Desta forma o capítulo 2 irá apresentar uma revisão bibliográfica que possa contextualizar o ambiente de transmissão, principalmente quanto quais ativos compõe este sistema. Além de tentar explanar sobre os métodos de inspeção e a falhas pertinentes a cada dispositivo.

No capítulo 3 será dissertado um estudo comparativo entre os métodos terrestre e aéreo por meio de VANT. Baseado principalmente em guias e manuais de grupos temáticos de organizações como CIGRE e IEEE.

Após a apresentação deste estudo comparativo o capítulo 4 irá apresentar os resultados de uma pesquisa de campo, a partir de um questionário aplicado diretamente aos profissionais que atuam na manutenção de LT. Contribuindo para ratificar ou não, as hipóteses apresentadas no capítulo 3.

Por fim, a próxima seção deste trabalho irá apresentar as conclusões obtidas nesta pesquisa e os resultados atingidos. Na sequência serão apresentadas as referências utilizadas para subsidiar este trabalho e nos apêndices são disponibilizados o questionário aplicado e os resultados gerais obtidos na pesquisa de campo.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

Com o intuito de contextualizar a dinâmica e importância das inspeções em Linhas de Transmissão (LT) este capítulo apresenta as definições dos equipamentos, dispositivos e demais espaços nos quais estão inseridos: cabos condutores e de proteção, isoladores e ferragens, as estruturas de sustentação dos cabos e as faixas de servidão. Além de citar os tipos de inspeções e as tecnologias mais indicadas, segundo órgãos especializados, para cada componente de uma LT.

### 2.1 Linhas de Transmissão de Alta Tensão

As Linhas de Transmissão operam dentro do sistema elétrico com as tensões mais elevadas, e cumprem a tarefa de transportar energia dos centros de geração aos centros consumidores (FUCHS, 1977). Comumente entende-se que LT são em alta tensão, mas vale caracterizar a partir de quais níveis recebe-se este título. Por exemplo, na NR10 entende-se como alta tensão em corrente alternada tensões superiores a 1000 V. Já NBR 14039 classifica como média tensão instalações atendidas com tensão superior a 1kV e inferior a 36,2kV. Já a ANEEL considera alta tensão acima de 69 kV.

A ANEEL também estabelece em sua resolução número 67 de 2004, que LT com tensões acima de 230 kV integram a chamada Rede Básica do SIN e são operados pelas chamadas Transmissoras, e os equipamentos que operam abaixo de 230 kV são classificados como Demais Instalações de Transmissão (DIT) e normalmente integram as redes de distribuição das chamadas Distribuidoras.

Seja a Rede Básica ou às DIT, estão sujeitas ao monitoramento de qualidade quanto ao fornecimento. Em relação a primeira, a ONS produz indicadores de desempenho do SIN, mesmo que tais perturbações no sistema não cheguem a afetar o abastecimento, o objetivo é minimizar as chances de ocorrência de uma perturbação de grande porte, restringir a propagação de um distúrbio e agilizar ao máximo a recomposição das cargas (ONS, 2022b). Em relação às DIT como estão sob responsabilidade das empresas de distribuição, ANEEL monitora a qualidade de fornecimento de energia elétrica através dos indicadores coletivos de continuidade,

DEC (Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora) e FEC (Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora).

As LT desempenham um papel significativo na operação de um sistema confiável de fornecimento de energia. Devido à sua complexidade, extensão e exposição ousada aos elementos, se tornam vulneráveis à degradação e possível falha de uma ampla variedade de eventos iniciadores (CIGRÉ, 2000), sendo assim, são ativos que requerem muita atenção por parte das transmissoras ou distribuidoras.

## **2.2 Composição das LT**

Com a geração de energia elétrica se distanciando cada vez mais dos grandes centros de consumo, os desafios em transportar energia elétrica também aumentam. Atualmente o SIN já opera com linhas em extra tensão, 800 kV em tensão contínua, para conectar a geração das Usinas de Tucuruí e Belo Monte, localizadas no Pará, ao sudeste do Brasil (ONS, 2022c). Pelas definições de um SEP em geração, transmissão e distribuição, a parte de transmissão engloba tanto as linhas de transmissão como as subestações.

Como o objeto desta pesquisa são as linhas de transmissão, apresenta-se os elementos que a constituem (FUCHS, 1977): cabos condutores, isoladores e ferragens, estruturas de sustentação dos cabos e cabos de proteção (para raios) e as áreas de servidão (segurança).

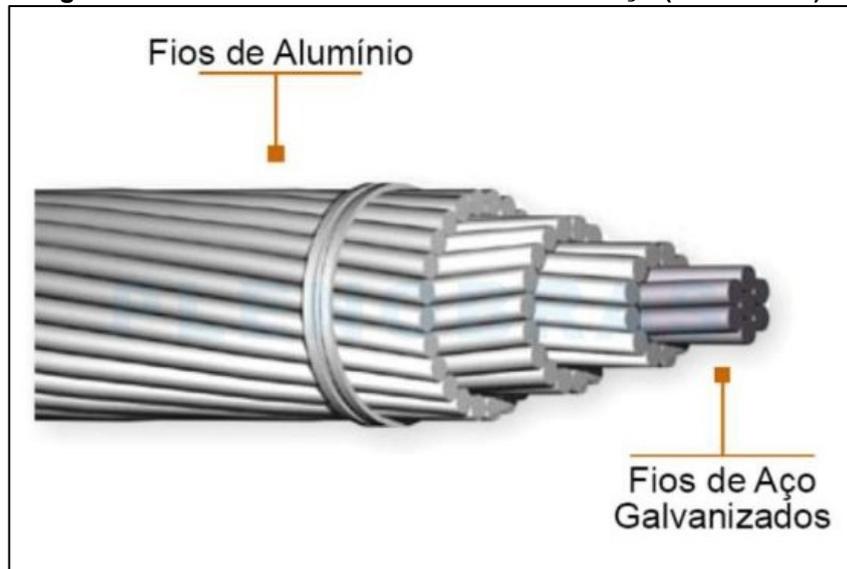
### **2.2.1 Cabos condutores e cabos de proteção**

Os cabos condutores são os elementos ativos das linhas de transmissão e são os principais responsáveis pelo desempenho elétrico, mecânico e econômico das linhas de transmissão, daí a importância de seu dimensionamento (FUCHS, 1977).

Os condutores ideais para linhas aéreas de transmissão devem ter alta condutibilidade elétrica (para minimizar perdas), baixo custo, alta resistência mecânica, baixo peso, baixa oxidação e corrosão por poluentes. Dentre todos os materiais disponíveis, o alumínio e suas ligas apresentam o maior número dessas propriedades. (BARBOSA, 2011).

Normalmente estes cabos são obtidos pelo encordoamento de fios de seções menores, e com avanço da tecnologia é possível obter cabos mais leves com maior capacidade de corrente elétrica. Em geral o cabo de alumínio com alma de aço oferece um bom custo-benefício para utilização em LT (ver figura 2).

**Figura 3 – Cabo de alumínio nu com alma de aço (CAA/ACSR)<sup>2</sup>**



Fonte: Judy Cabos (2022).

Segundo Souza (2014) as principais falhas nos cabos ocorrem devido à oxidação da alma de aço, o cisalhamento do cabo por ação dos próprios componentes de sustentação, cisalhamento por ação de vibração eólica, rompimento de emendas. Além da própria condição de operação que gera aquecimento do condutor e ao longo da operação pode vir a afetar suas características iniciais.

Instalados na parte superior das estruturas de sustentação, os cabos de proteção ou cabos para raios, se destinam a interceptar descargas atmosféricas e descarregá-las para o solo, a fim de evitar perturbações na LT (FUCHS, 1977). Atualmente além de cumprir sua função original os cabos de proteção também integram redes de telecomunicação, com a tecnologia de cabos chamados OPGW, do inglês Optical Ground Wire (OPGW) é um cabo para-raios que possui fibras ópticas no seu núcleo. Dessa forma, além de protegerem as linhas de transmissão de energia

<sup>2</sup> O cabo CAA é um condutor encordoado concêntrico composto de uma ou mais camadas (coroas) de fios de alumínio 1350, têmpera dura (H19) e um núcleo (alma de aço galvanizado de alta resistência mecânica). Conforme a dimensão do cabo, o núcleo pode ser constituído por um único fio de aço ou vários fios de aço encordoados. Devido às numerosas combinações possíveis de fios de alumínio e aço, pode ser variar a proporção dos mesmos, a fim de se obter a melhor relação entre capacidade de transporte de corrente e resistência mecânica para cada aplicação (JUDY CABOS, 2022)

elétrica contra descargas atmosféricas, as fibras ópticas do seu núcleo permitem que esses cabos sejam utilizados para transmissão de dados em alta velocidade, suprimindo demandas de comunicação (HT CABOS, 2021)

### 2.2.2 Isoladores e ferragens

Provavelmente a parte mais frágil de uma LT, os isoladores merecem cuidados especiais de manutenção (CIGRÉ, 2008). Sua função é suportar os cabos nas estruturas de sustentação (torres), os mantendo isolados eletricamente e devem resistir aos esforços mecânicos (forças verticais e horizontais axiais e transversais) e elétricos (tensão normal e sobretensões em frequência de trabalho, surtos de sobretensões de manobra e sobretensão de origem atmosférica), segundo Fuchs (1977).

Os isoladores mais utilizados em LT são os do tipo de suspensão de vidro (figura 3) ou porcelana (figura 4) e os poliméricos (figura 5) (SOUZA, 2014). Os isoladores de suspensão de porcelana, são construídos com material de baixa porosidade e isento de bolhas de ar e impurezas, sendo externamente vitrificados com a finalidade de garantir a hidrofobicidade do isolante. Apresentam alta resistência mecânica a impactos e possuem rigidez dielétrica da ordem 6 a 6,5 kV/mm. (FUCHS, 1977).

**Figura 4 – Isolador para LT de alta tensão em Vidro Temperado**



Fonte: Eletromecan (2022).

Os isoladores de suspensão de vidro são produzidos com vidros temperados,

possuindo uma rigidez dielétrica de 14 kV/mm, bem superior aos de porcelana, além de apresentar a mesma resistência mecânica (FUCHS, 1977). O que torna este tipo isolador pouco resistente a impactos e alvo fácil de vandalismos. Problemas estes, evitados com a instalação de isoladores poliméricos, compostos basicamente por um bastão de fibra de vidro e aletas que podem ser de silicone ou EPDM, dependendo do fabricante (NIGRI, 1999).

**Figura 5 – Isolador para LT de alta tensão em Porcelana**



Fonte: PPC Santana (2022).

Uma das desvantagens deste tipo de isolador é quanto a detecção de defeitos, sejam eles internos ou externos. Por isso, a determinação de sua vida útil ocorre normalmente pela deterioração por trilhamento elétrico e erosão (MARTINS, 2015).

**Figura 6 – Isolador Polimérico para LT de AT**



Fonte: MRC (2022).

Em relação às ferragens e demais acessórios trata-se na verdade no conjunto de peças que devem suportar os cabos e ligá-los às cadeias de isoladores e estes às estruturas (FUCHS, 1977). Em função dos esforços verticais e horizontais aplicados, por exemplo, na pinça (grampo) de suspensão (dispositivo que prende o cabo a cadeia de suspensão) podem ser fontes do Efeito Corona e até de rádio interferência, segundo Fuchs (1977).

O Grupo de Trabalho B2.03 do Comitê Nacional Brasileiro de Produção e Transmissão de Energia Elétrica (Cigré-Brasil) em seu estudo denominado Critério de Avaliação de Isoladores em Serviço (2008) destaca a importância das empresas transmissoras em investirem nas inspeções periódicas, a fim de evitar ocorrências indesejadas, provocadas pela ação da poluição nos isoladores, da oxidação nas ferragens, por agentes externos como árvores e o próprio homem (vandalismo).

**Figura 7 – Grampo de suspensão tipo *Cushion Grip***



Fonte: PLP (2022)

### 2.2.3 Estrutura de sustentação dos cabos

As estruturas constituem os elementos de sustentação dos cabos das linhas de transmissão, os pontos de sustentação são definidos em função da quantidade de cabos condutores e para-raios a serem suportados (FUCHS, 1977). As formas e

dimensões são determinadas por uma série de fatores: disposição dos condutores; distância entre condutores; dimensões dos isoladores; flechas formadas pelos condutores; altura de segurança; função mecânica; número de circuitos; entre outros. A NBR 5422 de 1985 fixa as condições básicas para projeto de linhas aéreas de transmissão, e os fatores que irão determinar principalmente as dimensões das estruturas de sustentação (torre).

Na determinação dos principais fatores, são considerados essencialmente o nível de tensão e sobretensão para os quais a linha de transmissão será projetada. Como função preponderante, a estrutura dará suporte mecânico, recebendo as cargas verticais, as cargas horizontais transversais e as cargas horizontais longitudinais. E ainda dentro do projeto é possível elencar funções específicas, ou seja, pode-se ter uma estrutura de suspensão, de ancoragem, de derivação, de transposição (FUCHS, 1977).

Em relação a base destas estruturas, devido aos esforços a que estão submetidas, basicamente pode-se encontrar, conforme ilustra a figura 7, as torres autoportantes (transmite todos os esforços para as suas fundações) ou com estais (estrutura mista que possui estais fixados ao solo além da própria estrutura). Para a construção destas estruturas utiliza-se o concreto, madeira e aço carbono. Como objeto desta pesquisa são as LT, as estruturas mais utilizadas são as metálicas, mesmo sabendo que existem redes compactas de alta tensão (69kV e 138kV) em estruturas de concreto (PROSDOCIMO, 2001). Desta maneira para suportar as intempéries do tempo, as peças de aço devem receber tratamento, como a zincagem, para retardar os efeitos da oxidação.

**Figura 8 – Exemplo de estrutura estaiada e autoportante**



**Fonte: Belo Monte Transmissora de Energia (2014).**

Segundo Souza (2014) às torres de transmissão também sofrem com ação de ventos muito fortes e interferência humana (vandalismo e até roubo de peças da estrutura), chamadas de Defeitos de Ação Rápida (CIGRES, 2008). Neste sentido, a rotina de inspeção pode salvaguardar os ativos das concessionárias de energia, principalmente para os Defeitos de Evolução Lenta, conforme Cigres (2008), que são aqueles causados pelo envelhecimento natural da estrutura, pela ação do tempo, principalmente o caso de oxidação.

#### 2.2.4 Faixa de Segurança de uma LT

Na concepção de uma LT é necessário delimitar o que a NBR 5422 (1985) chama de faixa de segurança, ou seja, uma faixa terra ao longo do eixo da LT, necessária para garantir seu bom desempenho e a segurança das instalações e de terceiros (SOUZA, 2014; LIMA, 2012). Leva-se em conta “o balanço dos cabos devido a ação do vento, efeitos elétricos e posicionamento das fundações de suportes e estais” (NBR 5422, 1985). De forma prática, muitas empresas consideram a faixa de segurança mínima de 30 metros por exemplo no Paraná (PARANÁ, 2019), a CELG PAR (2010) estabelece uma faixa de 35 m para LT de 230 kV.

A NBR 5422 (1985) não especifica valores de segurança para níveis de tensão superiores a 230 kV, neste caso muitos projetos se utilizam da NBR 12304 que fixa as condições exigíveis para a medição dos níveis de sinais espúrios gerados por equipamento para tecnologia da informação (ETI) e estabelece os correspondentes limites admissíveis para a faixa de frequência de 0,15 MHz a 1000 MHz e da Lei 11.934 (2009) que dispõe sobre os limites à exposição humana a campos elétricos e magnéticos. Como exemplo, a faixa de servidão da LT São Simão–Marimbondo–Ribeirão Preto de 500 kV, foi calculada em 60 m (RIMA, 2007).

De forma prática, as transmissoras ou distribuidoras de energia, responsáveis pela LT, conforme Decreto N.º 35.851(1954), recebem o direito de constituir as servidões administrativas permanentes ou temporárias, exigidas para o estabelecimento das respectivas linhas de transmissão e de distribuição (BRASIL, 1954). Em áreas rurais o proprietário da terra possui a posse, mas com restrições de uso, em função dos equipamentos e da LT propriamente dito.

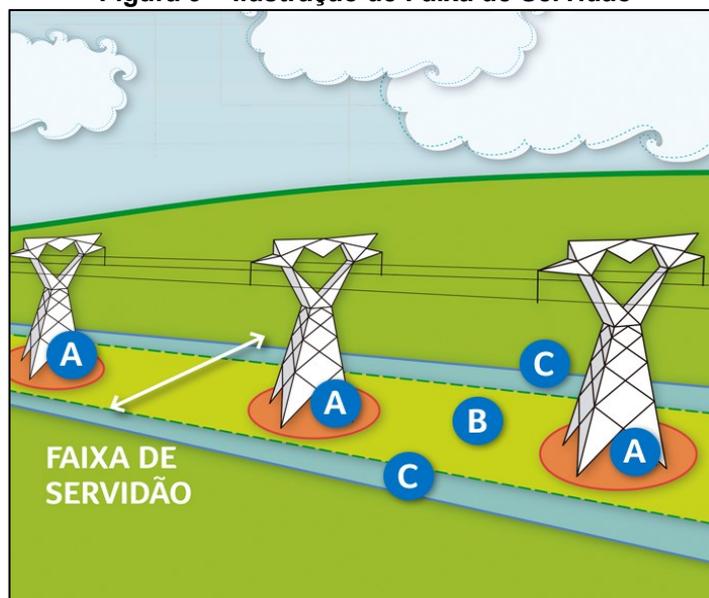
No meio urbano, chama-se faixa de domínio, a área de terra ao longo do eixo

das linhas e redes aéreas de distribuição, declarada de utilidade pública, adquirida pelo proprietário da linha por meio de acordo por instrumento público extrajudicial, decisão judicial ou prescrição aquisitiva (aquisição de uma propriedade pela posse pacífica e ininterrupta durante certo tempo), devidamente inscrita no cartório de registro de imóveis, com largura, de, no mínimo, igual à da faixa de segurança (CEMIG, 2015).

Para ilustrar e compreender o papel deste espaço de servidão para as LT, a figura 8 designa três áreas: A – fica ao redor da estrutura das torres, é usada para movimentação de veículos e equipamentos nos trabalhos de manutenção; B - corredor localizado bem abaixo dos cabos, ao longo da linha, nessa área são permitidas pela transmissora algumas benfeitorias ao proprietário da terra ou aos usuários que solicitem o uso desta; C – faixa de terra que complementa a largura total da faixa de servidão.

Portanto, este espaço destinado como faixa de segurança de uma LT é responsabilidade da empresa proprietária ou que detém a concessão deste equipamento, como prevê a Lei n.º 8.987 (1995) sobre Regime de concessão e Serviços Públicos. Sendo assim, existe uma demanda por inspeção nestas áreas seja pelo crescimento de árvores e demais tipos de vegetação, pela ocupação irregular por moradias e demais construções civis, pela presença de animais, por fenômenos desde

**Figura 9 – Ilustração de Faixa de Servidão**



Fonte: Furnas (2022).

erosão às queimadas. Que podem vir a afetar o funcionamento da LT, provocar uma

perturbação e até derrubar a estrutura (SOUZA, 2014; LIMA, 2012; CIGRÉ, 2000).

### 2.3 Técnicas de Inspeção em LT

Conforme o Grupo de Trabalho 13 apresenta no caderno técnico 175 sobre Gestão de Linhas de Transmissão Aéreas Existentes do CIGRÉ (2000) ressalta, que

O setor de concessionárias de energia elétrica está em uma condição transitória provocada pela privatização, desregulamentação e ampla concorrência. Está se tornando cada vez mais difícil obter a permissão e/ou financiamento necessários para adquirir novas faixas de domínio e construir novas LT, portanto, as concessionárias estão buscando maneiras de obter o máximo de seus ativos de LT existentes. Isso explica o interesse em aumentar a disponibilidade destes ativos. Para aumentar a disponibilidade de uma LT, deve haver uma compreensão clara do risco negativo e positivo resultante das decisões de gestão envolvendo uma LT (CIGRÉ, 2000).

Desta forma garantir a manutenção destes ativos significa aumentar a disponibilidade. Falha em um LT significa interrupção do fornecimento de energia elétrica. Este manual da Cigré (2000) apresenta toda uma técnica de inspeções necessárias para reduzir estes riscos de interrupções. Ou seja, “garantir a confiabilidade e a disponibilidade da função dos equipamentos e instalações de modo a atender a um processo de produção ou serviço, com segurança, preservação do meio ambiente e custos adequados” é função da manutenção (KARDEC; NASCIF, 2009).

Para a NBR 5462 (1994) falha é um evento caracterizado pelo término da capacidade de um item de desempenhar a função requerida, neste trabalho é a interrupção no fornecimento de energia elétrica. Mas é preciso referenciar outro conceito no âmbito da manutenção, o defeito, que segundo a NBR 5462 (1994) é qualquer desvio de uma característica de um item em relação aos seus requisitos, sem necessariamente interromper, neste caso, o fornecimento de energia elétrica.

Kardec e Nascif (2009) salientam que a maneira pela qual é feita a manutenção em determinado equipamento caracteriza os vários tipos de manutenção existentes, como por exemplo a manutenção corretiva, preventiva, preditiva, detectiva, dentre outras. A ANEEL (2019) no anexo I da resolução nº861 estabelece os requisitos mínimos de manutenção preventiva e preditiva aos quais as transmissoras devem seguir. Especificamente sobre LT a ANEEL (2019) evoca que “atividade mínima de manutenção para as linhas de transmissão é a inspeção de rotina”.

Nas inspeções de rotina devem ser verificados: o estado geral da linha de

transmissão, a situação dos estais, a integridade dos cabos condutores e para-raios, a estabilidade das estruturas, a integridade das cadeias de isoladores, a situação dos acessos às estruturas, a proximidade da vegetação aos cabos, a existência de vegetação que coloque em risco a operação da linha de transmissão em caso de incidência de queimadas e os casos de invasão de faixa de servidão (ANEEL, 2019).

A partir da análise do desempenho da linha de transmissão e dos resultados das inspeções regulares de rotina deve ser avaliada a necessidade de inspeções detalhadas das estruturas, inspeções termográficas, inspeções noturnas para observação de centelhamento em isolamentos ou de inspeções específicas para identificação de defeitos (oxidação de grelhas, estado das cadeias, danificação de condutores internos a grampos de suspensão ou espaçadores, degradação dos aterramentos (contrapesos), etc.). Também deve ser avaliada a necessidade de medição da resistência de aterramento em estruturas onde haja suspeita de mau desempenho do sistema de aterramento, de verificação de tração de estais e de manutenção preventiva e corretiva em estruturas, cabos e acessórios (ANEEL, 2019).

Portanto, o principal objetivo das inspeções é evitar falhas, por meio da busca ou identificação de defeitos. Assim, o Grupo de Trabalho B2.03 do CIGRE-Brasil (2008) classificou os defeitos em LT como:

- **Defeito de evolução lenta:** originado geralmente pelo envelhecimento natural, ou com aceleração por fatores externos, dos elementos constituintes das estruturas e pode aparecer entre médio e longo prazos após a energização da instalação. A detecção prematura permite a intervenção antes que atinja um grau que coloque a instalação em risco. Como exemplo: poluição em isoladores, oxidação em ferragens, fissuras e ou deterioração da cimentação.

- **Defeito de evolução rápida:** causado principalmente por atuações humanas e/ou causas pontuais. Em geral as consequências podem ocorrer em um prazo curto. Requer uma intervenção mais rápida. Como exemplo: árvore próxima dos cabos e isoladores danificados por vandalismo.

As inspeções em LT são divididas em dois grupos: terrestre ou aérea. Para a primeira cabe a uma equipe percorrer as estruturas e assim realizar a inspeção, seja ela visual ou através de instrumentos. Na chamada inspeção minuciosa, todas as estruturas devem ser escaladas e todo tipo de defeito encontrado deve ser relatado (de evolução rápida ou lenta). Na inspeção expedita não se exige a escada em todas

as estruturas, o objetivo é a detecção de defeitos de evolução rápida. E na inspeção específica trechos específicos são selecionados para a solução de defeitos frequentes ou por ser um ponto crítico (CIGRÉ, 2008).

A inspeção aérea tradicionalmente utiliza-se de helicópteros, conforme Cigré (2008) destaca, mas o uso de veículos aéreos não tripulados (VANT) também é uma realidade para esta atividade de inspeção, inclusive como objeto de interesse desta pesquisa. Em síntese, a vantagem desta inspeção é a redução de tempo, porém este trabalho irá discutir outros ganhos e também as dificuldades encontradas com utilização de VANT.

Conforme Cigré (2008) alguns instrumentos podem ser utilizados para melhorar os resultados das inspeções, como por exemplo: câmera com termografia (câmera equipada com detectores especiais de infravermelho, que transformam leituras de temperatura de objetos em imagens); detector de ultravioleta (equipamento que detecta atividade de corona e de outras descargas superficiais que emitem radiação luminosa, transformando em imagem esta atividade); isolômetro (equipamento usado para detectar se determinado isolador está com defeito, por comparação com isolador em bom estado); garfo para teste de ruído (garfo metálico, acoplado a bastão isolante, que aplicado nos isoladores em operação provoca um ruído característico que diminui na direção condutor para terra, no caso de uma descontinuidade do som indica que a peça sob avaliação está com defeito); positron (este aparelho mede e armazena a distribuição do campo elétrico na cadeia de isoladores, permitindo a identificação de unidades defeituosas através da análise de gráficos traçados por software que acompanha o equipamento).

**Quadro 1 - Técnicas de Inspeção por componentes em LT**

<b>COMPONENTE</b>	<b>DEFEITO</b>	<b>TÉCNICA DE INSPEÇÃO</b>
Condutores	Corrosão Interna	Inspeção Visual (terrestre ou aérea)
		Corrente Parasita <sup>3</sup>

<sup>3</sup> Este detector de corrosão funciona de forma indireta detectando a perda de galvanização dos fios de aço do condutor. A perda de galvanização pode ser detectada pela indução de correntes parasitas no condutor a partir de uma bobina que se prende ao redor do condutor. A resultante o campo magnético é medido com uma segunda bobina suficientemente sensível para detectar o campo perturbado em regiões onde a galvanização foi atacada (CIGRÉ, 2000).

		Alma de aço <sup>4</sup>
	Corrosão Externa	Inspeção Visual (terrestre ou aérea)
		Inspeção Visual (escalada).
	Dano Induzido pelo Vento (Vibração eólica, oscilação do subcondutor e galope)	Inspeção Visual (terrestre ou aérea) com utilização de instrumentos como câmara, binóculo de visão noturna
Cabo de proteção (para raio)	Dano induzido por descarga atmosférica	Inspeção Visual (terrestre ou aérea) com utilização de instrumentos como câmara, binóculo de visão noturna.
Ferragens	Cadeias de Suspensão Construídas Incorretamente	Inspeção Visual (terrestre ou aérea) com utilização de instrumentos como câmara com termografia
Isoladores (porcelana e vidro)	Corrosão no pino da tampa	Inspeção Visual (terrestre ou aérea) com utilização de instrumentos como câmara com termografia
		Medidor de queda de tensão do isolador e medidor de campo elétrico
	Vandalismo	Inspeção Visual (terrestre ou aérea) com utilização de instrumentos como câmara com termografia
Isoladores (polimérico)	Ação do tempo	Inspeção Visual (terrestre ou aérea) com utilização de instrumentos como câmara, binóculo de visão noturna.
Estruturas Metálicas	Ação do tempo nas partes metálicas da estrutura de sustentação	Inspeção Visual (terrestre) por meio da escalada ou Inspeção Aérea via utilização de câmeras.
	Ação do tempo nos cabos dos estais das estruturas	Método Hidráulico
		Método Vibração

<sup>4</sup> Este método detecta uma perda na área da seção transversal do aço. Esta área é medida gerando e recebendo 2.000 pulsos por segundo: a maior amplitude de cada 20 pulsos recebidos é registrada no computador embutido, que compila os dados a 100 pontos por segundo (CIGRÉ, 2000).

		Método Deflecção
		Método Corrosão
	Ação do tempo nas fundações de sustentação das estruturas metálicas	Inspeção Visual das estruturas de concreto
		Teste de resistividade do solo
		Testes de resistividade do concreto

Fonte: Adaptado de CIGRE (2000)

Por fim, o grupo B2.03 da Cigré (2000) apresenta um estudo detalhado das técnicas de inspeção em grande parte dos componentes de uma LT, este grupo de estudo do Cigré ressalta qual objeto deseja-se inspecionar e qual os defeitos se identificar. No Quadro 1 apresenta-se um resumo, para indicar o componente, qual o defeito e a respectiva técnica para identificá-lo.

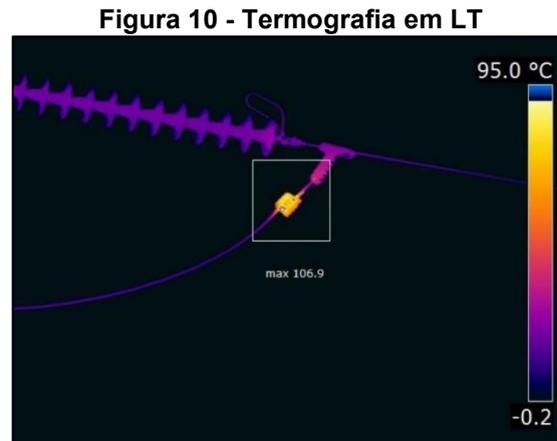
## 2.4 Termografia em LT

No ambiente de manutenção elétrica industrial, especificamente, as condições de temperatura são determinantes para a determinação da longevidade de componentes e equipamentos (NEWPORT, 1999). Neste sentido, pode-se elencar vários fatores que provocam uma distribuição anormal da temperatura nos dispositivos: sobrecarga, conexões elétricas frouxas ou processo de oxidação, componentes danificados. Para efetuar este tipo de inspeção, se utiliza da Termografia infravermelha, a qual é uma técnica que utiliza dispositivos optoeletrônicos para detectar e medir a radiação e correlacioná-la com a temperatura da superfície de uma estrutura ou equipamento que está sendo inspecionado (FLUKE, 2009).

Uma inspeção termográfica possibilita a realização de ajustes ou correções, antes que podem fornecer elementos para o planejamento de paradas programadas. Existe um extenso campo de aplicação para a termografia. Ela pode ser aplicada em uma simples medição de temperatura, como também na localização de defeitos em instalações e redes elétricas (SANTANA, 2018).

A técnica da termografia é aplicada a partir da radiação emitida pelos corpos no espectro infravermelho. Através da medição da temperatura a uma certa distância, e da obtenção de imagens térmicas, é possível se realizar uma análise quantitativa,

identificando-se os níveis isotérmicos e se determinando a temperatura de corpos a partir da radiação infravermelha emitida por eles (figura 10). Dentre as aplicações mais importantes da termografia, destaca-se a sua utilização na área de sistemas elétricos de potência (GEBRAN, 2013).



**Fonte: Eletric Power Solutions (2022)**

Para ratificar a importância da termografia como instrumento de prevenção de falhas, a Resolução nº 861 da ANEEL (2019), conforme o item 8.5 no Anexo 1, prevê o uso da termografia.

“A partir da análise do desempenho da linha de transmissão e dos resultados das inspeções regulares de rotina deve ser avaliada a necessidade de inspeções detalhadas das estruturas, inspeções termográficas, inspeções noturnas para observação de centelhamento em isolamentos ou de inspeções específicas para identificação de defeitos (oxidação de grelhas, estado das cadeias, danificação de condutores internos a grampos de suspensão ou espaçadores, degradação dos aterramentos (contrapesos), etc.). Também deve ser avaliada a necessidade de medição da resistência de aterramento em estruturas onde haja suspeita de mau desempenho do sistema de aterramento, de verificação de tração de estais e de manutenção preventiva e corretiva em estruturas, cabos e acessórios (ANEEL, 2019).”

Diante das dificuldades de acesso para realização das inspeções em LT, em função da altura das estruturas e da localização destas em matas fechadas por exemplo, é utilizado o recurso da inspeção aérea, na qual pode-se buscar o recurso da termografia para a verificação de cabos condutores, das junções, efeito corona nos cabos e isoladores entre outros, com uma acurácia maior na coleta da imagem.

## **2.5 Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT)**

Como SCHWAB (2016) relata sobre os desdobramentos da chamada Quarta Revolução Industrial, retratando tendências pelas quais o processo de inovação

tecnológica irá seguir, a presença de veículos autônomos é recorrente nos dias atuais. Com o avanço da Inteligência Artificial (IA) e de sensores a capacidade das máquinas autônomas aumenta (SCHWAB, 2016). Os drones despontam como instrumentos cada vez mais presentes na execução das mais diversas tarefas em vários setores.

A consultoria PwC (2016) em reporte destaca que “o progresso das aplicações com drones avançou nas capacidades tecnológicas, regulamentações e apoio ao investimento, fornecendo muitas novas aplicações possíveis, particularmente na agricultura, infraestrutura, segurança, transporte, mídia e entretenimento, telecomunicações, mineração e seguros”. Neste estudo a PwC (2016) estima que a demanda por soluções utilizando drones é da US\$127 bilhões, e o setor de infraestrutura, o qual as LT objeto desta pesquisa faz parte, demandaria US\$ 45 bilhões.

Drone é definido como um Sistema de Aeronaves Não Tripuladas (do inglês *UAS - Unmanned Aircraft System*) segundo a ISO 21895 (2020), esta norma especifica os requerimentos para classificação destes dispositivos. No Brasil adota-se a nomenclatura de Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) ou Aeronave Remotamente Pilotada (ARP), ou do inglês *Remotely-Piloted Aircraft* (RPA) conforme DECEA (2020), o qual cita também como termo mais atual para tratar estes dispositivos. A ICAO (2015) subdivide as aeronaves não tripuladas em três categorias: ARP ou VANT, Aeromodelos e Autônomas. As duas primeira são operadas remotamente, porém, os VANT são considerados para fins não recreativos, diferente dos aeromodelos.

A ANAC (2021) por meio do Regulamento Brasileiro de Aviação Civil Especial nº94 estabelece as condições para a operação de aeronaves não tripuladas. Como Kneipp (2018) cita que este documento produzido pela ANAC é referenciado outras autoridades de aviação civil como Federal Aviation Administration (FAA), Civil Aviation Safety Authority (CASA) e European Aviation Safety Agency (EASA), reguladores dos Estados Unidos, Austrália e da União Europeia, respectivamente.

É possível verificar também em ANAC (2021) a definições importantes na utilização de VANT, como: a distância mínima de 30 metros de terceiros; idade mínima de 18 anos para operar; obrigatoriedade de seguro com cobertura contra danos a terceiros nas operações de aeronaves não tripuladas; necessidade de licença e habilitação para pilotos que operem VANT acima de 250g e para voos acima de 400 pés, e para pilotos que operam VANT com mais de 25kg é necessário Certificado

Médico Aeronáutico (CMA) emitido pela ANAC ou o CMA de terceira classe do DECEA.

Três classificações relevantes para a operação de VANT retratada na ANAC (2021) quanto o alcance visual em relação ao piloto: BVLOS (*Beyond Visual Line of Sight*) operação na qual o piloto não consegue manter o drone dentro de seu alcance visual, mesmo com ajuda de um observador; VLOS (*Visual Line of Sight*) operação na qual o piloto mantém o contato visual direto com o drones (sem auxílio de lentes ou outros equipamentos); e EVLOS (*Extended Visual Line of Sight*) operação na qual o piloto remoto só é capaz de manter contato visual com o drones com o auxílio de lentes ou de outros equipamentos e precisa do auxílio de observadores de drone.

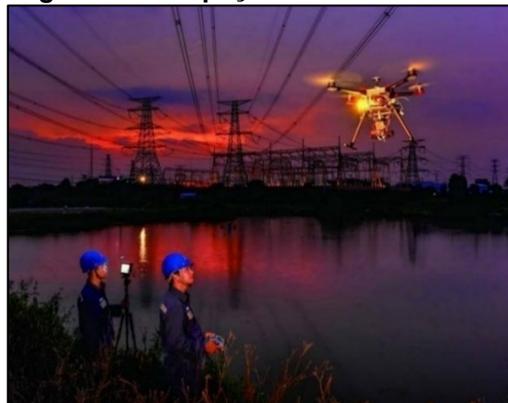
Outra classificação importante encontrada em ANAC (2021) de acordo com o peso máximo de decolagem (PMD) do VANT é feito da seguinte maneira:

- (1) Classe 1: RPA com peso máximo de decolagem maior que 150 kg;
- (2) Classe 2: RPA com peso máximo de decolagem maior que 25 kg e menor ou igual a 150 kg;
- (3) Classe 3: RPA com peso máximo de decolagem menor ou igual a 25 kg.

Conforme a classe do RPA, o documento da ANAC (2021) expõe as respectivas exigências para pilotos, equipamentos e planos de voo.

Com o advento dos VANTs e sua ampla utilização, o IEEE (2020) editou o Guia para Sistema de Inspeção de Patrulha Baseada em Veículo Aéreo Não Tripulado para Linhas de Transmissão (figura 11). O guia da IEEE (2020) tem por objetivo fornecer informações sobre a composição do sistema, aplicações, funções e desempenho, métodos de teste e procedimentos operacionais do sistema de inspeção baseado em VANT para linhas de transmissão aéreas e, assim, ajudar as concessionárias a escolher e usar o sistema de inspeção correto para uma aplicação específica.

**Figura 11 – Inspeção com VANT em LT**



Fonte: DJI (2022)

Além do IEEE (2020) apresentar a composição dos sistemas de inspeção de patrulha baseados em VANT usados para linhas de transmissão. São apresentados os cenários de aplicação, como inspeção de patrulha de aceitação, inspeção de patrulha de rotina, inspeção de patrulha de falhas e inspeção de patrulha emergente. Os procedimentos de inspeção de patrulha são fornecidos como orientação para aplicações de campo (IEEE, 2020).

Aqui encerra-se esta breve análise bibliográfica acerca das definições dos principais componentes que encontram-se em operação em LTAT: cabos condutores, cadeias de isoladores, ferragens, estruturas de sustentação e as faixas de servidão.

Entende-se que é importante conhecer a dimensão destes componentes, pois ao se tratar da manutenção destes, saiba-se os desafios impostos, principalmente por se encontrarem em LDA.

No capítulo 3, que fará o estudo comparativo entre os métodos terrestre e aéreo, os conceitos apresentados nesta seção, como as informações do quadro 1, serão resgatados para exemplificar as potencialidades e dificuldades de cada método de inspeção.

### **3. INSPEÇÃO EM LT EM LDA: COMPARAÇÃO ENTRE MÉTODO TERRESTRE E AÉREO POR MEIO DE VANT**

Nesta seção será apresentada uma comparação analítica entre os métodos de inspeção terrestre e aéreo por meio de VANT. Para isso, a bibliografia apresentada no referencial teórico subsidiou esta análise, e permitiu que se apresentasse vantagens e desvantagens de cada método em quatro categorias distintas que compõe as LT.

A busca pela máxima disponibilidade das máquinas em uma indústria é um grande desafio que o profissional de manutenção enfrenta em seu trabalho, sem desconsiderar premissas importantes como: segurança, produtividade e qualidade. Para que se possa atingir o pleno desempenho de um ativo, é necessário que se faça investimentos em novas tecnologias de monitoramento e inspeção, pois não é aceitável que nada passe despercebido durante a atividade de inspeção (KNEIPP, 2018). No setor de linhas de transmissão de energia elétrica não é diferente.

A ANEEL (2019) estabelece os requisitos mínimos de manutenção preventiva e preditiva aos quais as transmissoras devem seguir. O SIN também monitora por meio de indicadores o número de perturbações na rede básica, e ressalta que em média, 70% das perturbações aferidas são ocasionadas por LT (ONS, 2022b). Destas ocorrências apuradas no ano de 2021, conforme dados apresentados pela ONS (2022b), aproximadamente 29,88% das ocorrências são provenientes de Condições Meteorológicas Adversas (descarga atmosférica, chuva/temporal, vento forte, outros). As queimadas representam outros 26,83% das perturbações, seguido de falhas em equipamentos e acessórios com 7,13%, falhas humanas com 5,73% e vegetação 3,9%. A ONS classifica como outros ou causa indeterminada 26,74% das demais perturbações.

Diante destes números, o desafio das equipes de engenharia de manutenção das empresas transmissoras é atacar os pontos passíveis de prevenção, evitando assim falhas indesejadas. Para Semensato (2020) a inspeção de LT é considerada a forma mais completa de se obter dados e informações precisas sobre a condição real dos ativos e a classificação dos defeitos. Isto corrobora o que Nascif e Dorigo (2013) conceituam como sendo inspeção: a análise crítica de um ativo (equipamento ou sistema) verificando seu estado real em comparação com um padrão definido.

Portanto, o que se almeja durante uma inspeção em LT, de acordo com

Semensato (2015), que sejam determinadas as condições reais de seus componentes, que em geral, verifica-se:

- Estado estrutural da linha de transmissão;
- Estabilidade das bases das estruturas quanto a erosões e desbarrancamentos;
- Situação dos estais;
- Situação das fundações;
- Estado das cadeias de isoladores e acessórios;
- Estado dos cabos e acessórios;
- Condição dos sistemas de aterramento (contrapesos);
- Condição de trafegabilidade dos acessos até as estruturas;
- Proximidade da vegetação aos cabos;
- Áreas sujeitas à queimadas e incêndios;
- Possibilidade de invasão da faixa de servidão

Entendido a importância das LT e do papel crucial das inspeções como instrumento de prevenção, as empresas de distribuição e transmissão de energia no Brasil passam a incorporar uma nova tecnologia nesta atividade: o VANT. Por meio de uma rápida pesquisa em sites de busca (Google por exemplo) observa-se que notícias do uso de VANT em LT no Brasil começam a surgir a partir de 2017. Segundo Felipe (2019) a empresa China Southern Power Grid Co. Ltd. (também conhecida como CSG) em 2012 começou a testar o potencial dos VANT.

A maior incidência dos veículos autônomos, como é o caso do drone, integra as perspectivas que a chamada 4ª Revolução Industrial chama de megatendência, que de acordo com Schwab (2016) é a disseminação em larga escala da digitalização e da tecnologia da informação. Portanto, é com o aprimoramento da tecnologia que esta passa a se tornar cada vez mais viável e seu uso se torna a cada dia mais comum.

Os VANT passam a cumprir um papel na indústria e no setor de serviços em geral, não apenas com a função de coletar imagens, mas se utilizando de rede neurais<sup>5</sup> e inteligência artificial para que o próprio dispositivo identifique os pontos críticos ou anomalias. A fabricante de drones DJI (2022) tem em operação na empresa

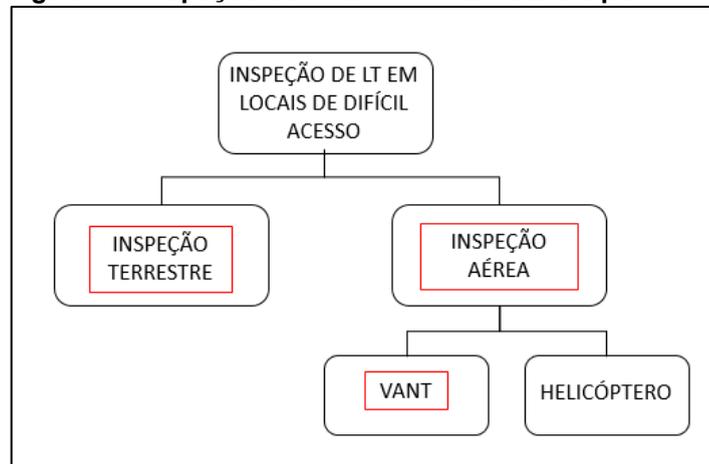
---

<sup>5</sup> Similarmente ao processo de aprendizado humano, a IA necessita ser treinada. Assim na constituição de uma rede neural, ela aprende sobre seu ambiente através de um processo interativo de ajustes de pesos sinápticos e dos limiares das funções de ativação, também chamadas bias (OROSKI, 2011).

chinesa CSG mais de seis mil VANT, e ressalta que por meio de algoritmos de reconhecimento visual inteligentes, os drones foram capazes de enviar exibições em tempo real com a identificação de componentes. Inspetores puderam visualizar imagens nítidas com etiquetas de sinalização de componentes a vários quilômetros de distância nas telas de seus controles, como isoladores de vidro e elos de ligação.

Entende-se a necessidade de inspeções em LT, sabe-se da realidade de grande parte das estruturas estarem em locais de difícil acesso e com a inserção da tecnologia dos VANT, será dissertado sobre como os componentes de uma LT podem ser inspecionados de forma terrestre ou aérea por meio de VANT (figura 12), conforme o conteúdo já descrito no quadro 1, elaborado pelo Cigré (2000). Para auxiliar na comparação dos métodos de inspeção, serão observadas três dimensões: humana, técnico-econômica e ambiental.

**Figura 12- Inspeção de LT em LDA: terrestre e por VANT**



Fonte: o autor (2022)

A dimensão humana irá apresentar quais as ações que incorrem sobre o profissional que executa a inspeção. A dimensão técnico-econômica irá analisar as informações levantadas durante a inspeção promove ganhos técnicos e/ou retornos financeiros. Por fim, mas não menos importante, a questão ambiental irá tratar dos possíveis impactos ou redução destes no ambiente onde estão as LT.

Semensato (2015) divide a inspeção em categorias, a fim de padronizar a identificação das possíveis anomalias encontradas: a) Cabos: condutor, para-raios e ferragens; b) Cadeia de Isoladores: vidro, porcelana e polimérico; c) Faixa de Servidão; d) Estruturas metálicas e base de concreto.

### 3.1 Inspeção de LT em LDA

As inspeções em LT ocorrem basicamente de duas formas: por meio terrestre ou aéreo. Por via aérea, já é utilizada a mais tempo o uso de helicópteros, mas com um custo elevado ((WALE; SANDEEP, 2016; LIU, 2019). Também não pode deixar de ser citado o uso de robôs<sup>6</sup> de inspeção, destinados principalmente para a inspeção dos cabos.

Não é objeto desta pesquisa a manutenção (reparo) das LT, que ocorrem em grande parte de forma terrestre. Alguns reparos aéreos são realizados a partir de bases ou cestos instalados em helicópteros (BROCA, 2017), para troca em esferas de sinalização e espaçadores. Manutenção em LT por VANT existe uma tecnologia sendo aplicada pela empresa Isa Ceteep (2021), na qual um drone incinera objetos que caem nas linhas de transmissão e podem afetar o fornecimento de energia elétrica.

Portanto, segue o descritivo dos métodos de inspeção terrestre e aéreo por meio de VANT:

**Inspeção Terrestre** – consiste na ida a campo de uma equipe de manutenção da empresa transmissora para averiguar os ativos. Esta equipe é formada por 2 a 3 profissionais, providos de um veículo automotor, obrigatoriamente com tração 4x4, devido aos locais de difícil acesso nos quais as estruturas da LT estão instaladas. Recomenda-se que pelo menos dois componentes da equipe possuam treinamento em inspeção de linhas para permitir a entrada de ambos na faixa de servidão, além de possibilitar o revezamento de escada de estruturas, enquanto o terceiro se desloca para buscá-los mais a frente onde o acesso seja viável (BEZERRA, 2010). As inspeções terrestres, conforme COPEL (2014, apud ROCHA, 2014) podem ser divididas em: a) Inspeção Terrestre tipo Patrulhada: as verificações são feitas com os eletricitistas indo a campo sem necessidade de escalada das estruturas, a partir do solo (a olho nu, através de binóculos ou câmeras) buscam identificar anomalias ou potenciais falhas, possui periodicidade anual; b) Inspeção Terrestre para OPGW: a inspeção dos cabos guardas ocorrem a cada 6 meses, nesta inspeção específica, a equipe realiza a escalada para verificação, vale lembrar que este cabo além da função para raio, acumula a função de telecomunicação ou de dados; c) Inspeção Terrestre

---

<sup>6</sup> A função do robô é percorrer as LT com o ajuda de rolos, suspenso nos cabos. Desta forma, a utilização do ser humano é minimizada. O robô se utiliza de robótica rígida com câmeras para termografia processamento de imagem, fontes de energia e sensores de energia. Basicamente, o robô é construído com fibra de carbono, utilizam duas baterias de 12V (WALE; SANDEEP, 2016)

tipo Detalhada: nesta inspeção os trabalhadores obrigatoriamente fazem a escalada nas estruturas e verificam o estado de cada componente a ser revisado. Pode se lançar mão do uso de câmeras termográficas, ultravioleta e demais dispositivos para complementar a inspeção, inclusive VANT, e possui periodicidade bianual. Após a inspeção os técnicos irão produzir um relatório com os dados observados, destacando o que é passível de programação de manutenção.

**Inspeção Aérea por meio de VANT:** a inspeção de LT em LDA por meio de VANT tem os mesmos objetivos da patrulha terrestre, mas com a premissa de não ser necessário que o profissional tenha que acessar as estruturas fisicamente. Ou seja, ao longo de uma LT a equipe de inspeção pode se posicionar em uma base e percorrer alguns quilômetros de linha com o drone, realizando a captura de imagens seja dos cabos, estruturas de sustentação, isoladores e demais acessórios. Conforme o guia de inspeção com VANT do IEEE (2020) é possível operar de três modos o VANT, manual, automática ou autônoma. A primeira requer dois técnicos, um para pilotar o dispositivo e garantir que não haja nenhuma colisão com a LT e posicione o drone nos pontos desejados para captura das imagens, enquanto o segundo técnico fica responsável pelo monitoramento e fotografia. Na forma automática é traçado um plano de voo e definido os pontos a serem fotografados por meio da central de controle, ao concluir o plano o VANT deve retornar para a base, em caso de emergência o operador assume o controle do dispositivo. É necessária uma preparação prévia, evitando questões climáticas adversas, e que o piloto tenha conhecimento prévio do sistema elétrico a ser inspecionado e treinamento para operação do VANT. A inspeção de patrulha baseada em VANT pode ser realizada por voo em um lado, dois lados ou acima das linhas aéreas e torres. Devido o volume de imagens coletadas, conforme disponibilidade, pode se utilizar um software dedicado para análise do material fotográfico, ou passa-se para o trabalho manual.

Abaixo será apresentado alguns exemplos de anomalias que são detectáveis durante a inspeção de LT. O mapeamento destas falhas potenciais<sup>7</sup> irá subsidiar os gestores de O&M das transmissoras ou distribuidoras de energia elétrica no planejamento das manutenções preventivas.

**Cabos – condutor (figura 13), para-raios (figura 14) e ferragens (figura 15):**

---

<sup>7</sup> Segundo Nascif e Kardec (2009) uma falha potencial é uma condição identificável e mensurável que antecede uma falha funcional, que por sua vez é definida como a incapacidade de um item em desempenhar uma função específica dentro de limites desejados de desempenho.

identificar a presença de pontos de corrosão ou danos induzidos pelo vento (vibração eólica, oscilação do subcondutor e galope).

**Figura 13 - Cabo danificado por espaçador**



**Fonte: Souza (2014)**

A vibração eólica, conforme EPRI (2006, apud NOÉ, 2018) trata-se da corrente de ar que ao incidir sobre o primeiro cabo é perturbada de modo que movimentos aerodinâmicos ocorrem no condutor seguinte propiciada por ela, sendo então gerados componentes de forças que induzem o cabo a apresentar movimentos elípticos regulares, capazes de resultar na falha por fadiga do condutor em um pequeno número de ciclos.

**Figura 14 - Cabo OPGW danificado por descarga atmosférica**



**Fonte: Almeida (2010)**

A fadiga nos cabos condutores é a principal falha causada pela vibração eólica, em função dos esforços cíclicos gerados nos pontos de fixação dos cabos, que restringem seu movimento. Pode-se citar como exemplo: locais de suporte, grampos

de suspensão, isoladores de pinça, espaçadores de amortecedores, etc. (EPRI, 2006 apud NOÉ, 2018).

O cabo guarda, ou para raio, são instalados no topo das linhas de alta tensão para proteger os demais condutores de raios. Atualmente é muito utilizado os cabos OPGW (figura 14), para transmissão de dados, no entanto, embora sejam projetados para ter um bom nível de resistência a descarga atmosféricas, podem sofrer danos particularmente severos. Conforme CIGRE (2000) os danos variam desde desgaste da superfície externa, até derretimento e quebra de cordões externos com consequente redução da resistência mecânica do condutor.

**Figura 15 - Espaçador danificado**



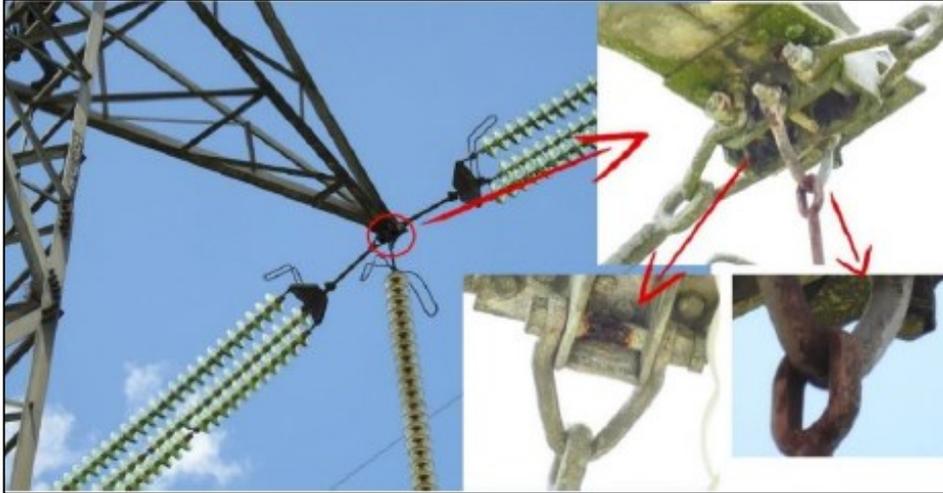
**Fonte: Souza (2014)**

O efeito do galope trata-se da incidência de ventos laterais moderadamente fortes e constantes agindo sobre uma superfície condutora congelada assimetricamente (EPRI, 2005). Portanto, no Brasil são raros os casos deste tipo de ocorrência.

**b) Cadeia de Isoladores – vidro, porcelana e polimérico:** a inspeção destes componentes vislumbra identificar corrosão nos pinos de sustentação das cadeias de isoladores (figura 16), vandalismo (figura 17) e a ação do tempo (figura 18), principalmente nos isoladores poliméricos.

A principal causa de falha na suspensão e tensão dos isoladores de porcelana é a corrosão do pino de aço na tampa e no conjunto do pino. As correntes de fuga de superfície são concentradas no pino, causando uma maior densidade de corrente nesta área e conseqüentemente uma formação de banda seca ao redor da base do pino. As descargas parciais unem essas faixas secas, resultando em severa erosão por faísca e após a remoção rápida da galvanização, a corrosão natural do pino ocorre até que a área da seção transversal restante não possa mais suportar a carga (GIGRE, 2000).

**Figura 16 - Corrosão nos pinos de sustentação das cadeias de isoladores**



Fonte: Semensato (2015)

Sendo assim, isoladores defeituosos serão mais suscetíveis a falhas devido poluição ou relâmpagos, quando ocorrer a formação de um arco elétrico na tampa da unidade perfurada, irá favorecer o rompimento da cadeia de isoladores e provocar a queda da linha (CIGRE, 2000).

Com isoladores de vidro, as descargas atmosféricas e o vandalismo corrompem ou quebram o vidro e o pino e, estes danos mesmo que superficiais, são suficientes para provocar o desequilíbrio nas tensões mecânicas internas no vidro temperado, acarretando no rompimento da cadeia de isoladores (CIGRE, 2000).

**Figura 17- Cadeia de isoladores de vidro danificada por vandalismo**



Fonte: Souza (2014)

Em isoladores poliméricos a degradação pode ocorrer por envelhecimento prematuro ou defeitos internos de fabricação. Para efeitos de manutenção CIGRE (2000) recomenda a combinação de técnicas de inspeção nestes dispositivos.

**Figura 18 - Isolador polimérico contaminado por fungos**



Fonte: Souza (2014).

**c) Faixa de Servidão:** a inspeção das faixas de servidão serve para garantir que não estejam sendo usadas de forma inadequada e colocando em risco a LT, também contribuem para o correto manejo da vegetação sob a LT. Considera-se desde o crescimento de vegetação com árvores de grande porte, de lavouras impróprias para uso em faixa de servidão (figura 19), de construções irregulares (figura 20) e em períodos de grande estiagem para detectar focos de queimadas (figura 21).

**Figura 19 - Uso da faixa de servidão para lavouras com plantação de eucaliptos próximo a LT**



Fonte: Blunk (2019)

As faixas de servidão, que são áreas de uso restrito que ficam abaixo da LT, possuem cobertura vegetal e dimensões variadas em função das características do terreno e da tensão transmitida pela linha. O porte da vegetação nesta faixa também pode variar, podendo ser corte raso ou até mesmo mantida toda a vegetação (BLUNK, 2019).

**Figura 20 - Construções irregulares sob LT**



Fonte: Domingos (2021)

Em um país continental como o Brasil, com diversos biomas pelos quais transpassam os milhares de quilômetros de linhas de transmissão, outro ponto crítico são encontrados principalmente nos grandes centros urbanos: a ocupação irregular de faixas de servidão (figura 20).

**Figura 21 - Incêndio em faixa de servidão próximo a torres**



**Fonte: G1 (2014)**

Segundo Souza (2014) a ocupação das faixas de domínio da LT é fruto de um crescimento desordenado das cidades. Os esforços para regularização das faixas de passagem de linhas de transmissão em áreas urbanas de grande densidade demográfica apresentam alto custo financeiro para retirada de moradias através de indenizações e construções de benfeitorias, os quais demandam grande esforço político das empresas nas negociações com as comunidades.

Portanto, pode-se classificar como LDA as áreas de ocupação irregular das faixas de servidão. O que irá requerer dos responsáveis pela manutenção destas linhas de transmissão, além de atender aos requisitos de disponibilidade contratados, garantir a segurança das pessoas que ocupam estas áreas, pois a falha em determinados componentes das linhas de transmissão localizadas nestas áreas pode ter consequências muito graves à segurança das pessoas que vivem nas faixas de passagem destes ativos (SOUZA, 2014).

**d) Estruturas metálicas e fundação:** as estruturas de sustentação dos cabos e as fundações de fixação das mesmas, também passam por inspeção, seja para

averiguação de ação do tempo: corrosão (figura 22) ou até mesmo erosão (figura 23); ou infelizmente por vandalismo, por exemplo furto de treliças e outras peças metálicas da torre de transmissão (figura 24).

**Figura 22 - Corrosão nas treliças da estrutura de sustentação**



Fonte: Souza (2014)

A maioria das estruturas metálicas são construídas com peças de aço galvanizado, que podem ser pré-pintados antes da montagem ou pintado algum tempo após a montagem. Mas em função da ação do tempo, estarão sujeitas a corrosão, no entanto deve se considerar que estas peças de suporte podem sofrer flambagem devido ao movimento do solo, parafusos soltos ou membros quebrados. Movimentos excessivos do vento são a causa normal de parafusos soltos e quebra de aço (GIGRE, 2000).

**Figura 23 - Erosão em base de torre de transmissão**



Fonte: G1 (2021)

Em relação a fundação que dará suporte a toda a estrutura, se construída de maneira apropriada, não existem modos de degradação significativos (GIGRE, 2000). No entanto, se falhas no acabamento do encaixe da estrutura metálica no concreto da base pode acelerar o processo de corrosão ou se problemas no solo ao redor da base surgirem, provocando a instabilidade da estrutura.

**Figura 24 - Furto de peças metálicas da estrutura**



Fonte: G1 (2021)

Muitas vezes se faz necessário a formação de uma equipe multidisciplinar na análise de situações encontradas durante uma inspeção de LT. Visto que alguns problemas são pertinentes a diversas áreas da engenharia: elétrica, mecânica, civil, geológica.

### **3.2 Comparação Entre os Métodos de Inspeção: Terrestre e por meio de VANT**

Exposto as técnicas de inspeção de LT possíveis de serem utilizadas em LDA, e as anomalias a serem detectadas a fim de prevenir falhas funcionais é pertinente traçar um comparativo entre os métodos. A partir da dimensão humana (quadro 2), técnico-econômica (quadro 3) e ambiental (quadro 4) irá resumidamente posicionar cada método.

Para efeito de distinção de cada método, será posicionado a ação como uma proposição que traga uma condição/retorno/impacto: positivo (+), negativo (-) e neutra/necessária (/).

### 3.2.1 Dimensão Humana

Os tópicos apresentados no quadro 2, pertinentes a dimensão humana em relação as inspeções em LT em LDA tem como principal objetivo determinar qual método consegue minimizar os riscos aos quais o profissional fica exposto.

<b>Quadro 2 - Dimensão Humana</b>		
<b>(1) DIMENSÃO HUMANA</b>		
<i>Condição/retorno/impacto: (+) positivo   (-) negativo   (/) neutra</i>		
CATEGORIA	MÉTODO DE INSPEÇÃO	
	TERRESTRE	VANT
CABOS	(+) Necessidade apenas da MDO humana para realização da inspeção, sem dependência tecnológica.	(+) Percorrer diversas estruturas a partir de uma base, sem necessidade de acessar os LDA.
	(-) Risco de acidente com o trabalhador(a): devido a exposição a animais peçonhentos, queda devido locomoção em terreno acidentado, queda de altura	(-) Risco de acidente com o drone: por imperícia do operador ou adversidade climática o dispositivo pode colidir com alguma estrutura, árvore.
	(-) Fadiga devido esforço físico do profissional: necessidade de caminhar longos quilômetros e escalar diversas torres.	(-) Limitações de tempo de inspeção em função da baixa autonomia das baterias e necessidade de softwares para análise pós inspeção.
	(/) Necessidade de treinamento: NR 35 (Trabalho em altura) bienal; NR-10 (Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade) bienal; NR 37 (Complementar para serviços em instalações elétricas em alta tensão) 4 anos.	(/) Necessidade de habilitação/treinamento para operar VANT.
CADEIA DE ISOLADORES	(+) Necessidade apenas da MDO humana para realização da inspeção, sem dependência tecnológica.	(+) Percorrer diversas estruturas a partir de uma base, sem necessidade de acessar os LDA.
	(-) Risco de acidente com o trabalhador(a): devido a exposição a animais peçonhentos, queda devido locomoção em terreno acidentado, queda de altura	(-) Risco de acidente com o drone: por imperícia do operador ou adversidade climática o dispositivo pode colidir com alguma estrutura, árvore.
	(-) Fadiga devido esforço físico do profissional: necessidade de caminhar longos quilômetros e escalar diversas torres.	(-) Limitações de tempo de inspeção em função da baixa autonomia das baterias e necessidade de softwares para análise pós inspeção.

	(/) Necessidade de treinamento: NR 35 (Trabalho em altura) bienal; NR-10 (Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade) bienal; NR 37 (Complementar para serviços em instalações elétricas em alta tensão) 4 anos.	(/) Necessidade de habilitação/treinamento para operar VANT.
FAIXA DE SERVIDÃO	(+) Necessidade apenas da MDO humana para realização da inspeção, sem dependência tecnológica.	(+) Percorrer diversas estruturas a partir de uma base, sem necessidade de acessar os LDA.
	(-) Risco de acidente com o trabalhador(a): devido a exposição a animais peçonhentos, queda devido locomoção em terreno acidentado, queda de altura	(-) Risco de acidente com o drone: por imperícia do operador ou adversidade climática o dispositivo pode colidir com alguma estrutura, árvore.
ESTRUTURAS METÁLICAS E FUNDAÇÃO	(+) Necessidade apenas da MDO humana para realização da inspeção, sem dependência tecnológica.	(+) Percorrer diversas estruturas a partir de uma base, sem necessidade de acessar os LDA.
	(-) Risco de acidente com o trabalhador(a): devido a exposição a animais peçonhentos, queda devido locomoção em terreno acidentado, queda de altura	(-) Risco de acidente com o drone: por imperícia do operador ou adversidade climática o dispositivo pode colidir com alguma estrutura, árvore.
	(-) Fadiga devido esforço físico do profissional: necessidade de caminhar longos quilômetros e escalar diversas torres.	(-) Limitações de tempo de inspeção em função da baixa autonomia das baterias e necessidade de softwares para análise pós inspeção.
	(/) Necessidade de treinamento: NR 35 (Trabalho em altura) bienal; NR-10 (Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade) bienal; NR 37 (Complementar para serviços em instalações elétricas em alta tensão) 4 anos.	(/) Necessidade de habilitação/treinamento para operar VANT.

Fonte: Autoria própria (2022)

Conforme Brasil (2021) entre 2011 e 2020 foram registrados, nas empresas típicas do setor elétrico, 3.703 acidentes por exposição à energia elétrica, resultando em 210 mortes. Este número refere-se as 11 subclasses do CNAE relacionados a empresas típicas do setor elétrico, no entanto 80% destes óbitos concentram-se em 4 subclasses, conforme apresentado na tabela 1.

**Tabela 1 - Quantidade de mortes, acidentes e taxa de letalidade ocasionada por exposição à energia elétrica nos empregadores típicos do setor elétrico**

Subclasse	Descrição da CNAE	Qtde Mortes	Qtde Acidentes	Taxa de letalidade
4221902	Construção de estações e redes de distribuição de energia elétrica	95	1067	89
4221903	Manutenção de redes de distribuição de energia elétrica	21	256	82
3514000	Distribuição de energia elétrica	47	891	53
3512300	Transmissão de energia elétrica	6	117	51

**Fonte: Adaptado de Brasil (2021)**

Portanto, ao se observar a taxa de letalidade (relação entre a quantidade de óbitos pela quantidade de acidente) das atividades referentes a transmissão e distribuição de energia elétrica, é totalmente justificável a busca por alternativas que possam reduzir os riscos inerentes a estes ofícios.

### 3.2.2 Dimensão Técnico-Econômica

O atual modelo do setor elétrico surge a partir da promulgação da Lei 10.848/2004, conforme Fracasso (2019) o principal objetivo era proporcionar aos consumidores, fornecimento seguro de energia elétrica com modicidade tarifária. A Lei do Novo Modelo do Setor Elétrico foi regulamentada por decretos presidenciais dentre os quais o Decreto 5.163/04, que dispõe, principalmente, sobre a comercialização de energia elétrica.

O setor elétrico após 2004, ficou estruturado de tal forma, que cada ator tem suas responsabilidades definidas entre planejamento e formulação de políticas públicas, regulação e fiscalização, operação e comercialização de energia (FRACASSO, 2019). Especificamente no setor de transmissão de energia, a concessão de exploração deste serviço, que iniciou com a promulgação das leis 10.438/2002 e 10.604/2002 foi o mecanismo competitivo escolhido para o desenvolvimento do setor.

**Quadro 3 - Dimensão Técnico-Econômica****(2) DIMENSÃO TÉCNICO-ECONÔMICA***Condição/retorno/impacto: (+) positivo | (-) negativo | (/) neutra*

CATEGORIA	MÉTODO DE INSPEÇÃO	
	TERRESTRE	VANT
CABOS	(-) Atividade onerosa devido a morosidade do trabalho. Custo homem/hora elevado.	(+) Redução do tempo de inspeção, aumento da produtividade.
	(-) Dificuldade de coleta de informações em função do acesso ou da coleta de imagens a partir do solo.	(+) Precisão e qualidade das informações obtidas por meio das câmeras acopladas ao drone.
	(-) Necessidade de profissionais com experiência para detectar os pontos relevantes durante a inspeção	(-) Necessidade de um piloto experiente para posicionar o VANT nos pontos corretos para a melhor captura de imagens.
		(-) Limitações de tempo de inspeção em função da baixa autonomia das baterias e necessidade de softwares para análise pós inspeção.
CADEIA DE ISOLADORES	(-) Necessidade de dispositivos auxiliares para realizar a inspeção (figura 25), o que dificulta o trabalho e não oferece um bom resultado.	(+) Captura de imagens próximas e com alta resolução dos dispositivos a serem inspecionados (figura 26).
	(-) Uso de câmeras termográficas e ultravioleta (para efeito corona) a partir do solo	(+) Uso de câmeras termográficas e ultravioleta (para efeito corona) acoplados ao drone.
	(+) Uso do positron para identificação de falhas nas cadeias de isoladores (figura 27 e 28).	(-) Impossibilidade do uso do positron.
		(-) Limitações de tempo de inspeção em função da baixa autonomia das baterias e necessidade de softwares para análise pós inspeção.

FAIXA DE SERVIDÃO	(-) Atividade onerosa devido a morosidade do trabalho. Custo homem/hora elevado.	(+) Redução do tempo de inspeção, aumento da produtividade.
	(-) Dificuldade de coleta de informações em função das condições de acesso.	(+) Precisão e qualidade das informações obtidas por meio das câmeras acopladas ao drone. Possibilidade de uso de georreferenciamento e dados do LiDAR <sup>8</sup>
ESTRUTURAS METÁLICAS E FUNDAÇÃO	(-) Atividade onerosa devido a morosidade do trabalho. Custo homem/hora elevado	(+) Redução do tempo de inspeção, aumento da produtividade.
	(+) Maior disponibilidade de recursos para testes e análises das fundações, concreto e estais	(-) Limitado a inspeção visual, não possibilita realização dos testes e análises pertinentes.

Fonte: Autoria própria (2022)

A necessidade de uma maior eficiência do setor de transmissão, representa um lucro maior para a empresa, pois, a melhoria da eficiência da empresa leva a custos menores do que os reconhecidos pelo regulador, o que permite que o concessionário se aproprie dos ganhos excedentes (FRACASSO, 2019). No setor de transmissão é utilizada a Regulação por Receita Máxima (*Revenue Cap*<sup>9</sup>). Portanto, a capacidade técnica de cada empresa pode afetar o seu custo, visto que a receita das transmissoras está diretamente ligada a disponibilidade dos seus ativos.

<sup>8</sup> O LiDAR (Light Detection and Ranging) é um sensor remoto ativo a bordo de plataformas (tripuladas ou não tripuladas) e um método direto de captura de dados, o mesmo possui sua própria fonte de energia, neste caso, uma fonte de luz, o laser. A técnica LiDAR é utilizada principalmente para levantamentos topográficos, para caracterizar a estrutura da vegetação, bem como a volumetria de edificações e ambientes urbanos de forma mais rápida e confiável (INPE, 2022).

<sup>9</sup> O regime de regulação do segmento de transmissão no Brasil é o *Revenue-cap*, no qual a receita de uma instalação é paga mediante sua disponibilização ao sistema. Nesse sentido, a transmissora só perde receita caso deixe suas instalações indisponíveis, mediante o mecanismo da Parcela Variável (PV) sobre as instalações da Rede Básica e Rede Básica Fronteira (ANEEL, 2016).

**Figura 25 - Uso de espelho côncavo para inspeção de isoladores.**



**Fonte: Semensato (2015)**

O investimento em boas práticas de manutenção, principalmente no que tange a prevenção de indisponibilidade das LT é fundamental. Por isso, o quadro 3 não descredencia nenhuma prática de inspeção, mas reforça aquelas que podem trazer benefícios do ponto de vista técnico e econômico. Neste caso, a figura 25 demonstra uma inspeção de uma cadeia de isoladores por escalada. Técnica amplamente usada e experimentada, mas que poderia ser substituída por uma inspeção com VANT, por exemplo a figura 26.

**Figura 26 - Imagem coletada por um VANT a 1,5m do isolador.**



**Fonte: Verissimo (2016)**

Quando a empresa dispõe de recursos tecnológicos que prezem pela qualidade e otimização do tempo destinados em uma inspeção de LT, significa a busca pela alocação ótima dos recursos humanos e técnicos.

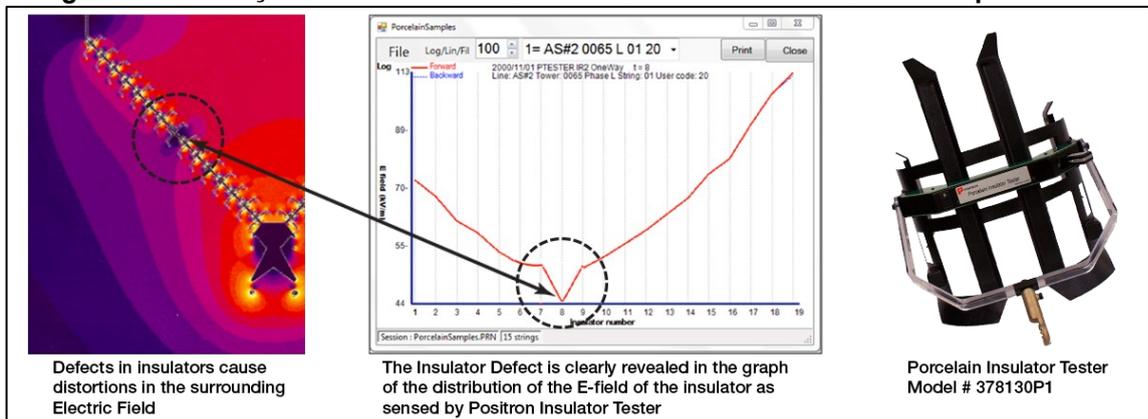
**Figura 27 - Uso do positron para detecção de defeitos em cadeias de isoladores.**



Fonte: Positron (2022)

A figura 27 reforça que todas as técnicas de inspeção listadas nesta pesquisa são relevantes. A utilização do positron por exemplo estabelece uma análise preditiva da cadeia de isoladores, por meio da análise gráfica da distribuição do campo elétrico ao longo da cadeia de isoladores (poliméricos, vidro ou porcelana).

**Figura 28 - Detecção de defeitos em isoladores através da análise do campo elétrico.**



Fonte: Positron (2022)

A análise gráfica gerada pelo dispositivo, traça a distribuição do campo elétrico ao longo da cadeia de isoladores. Para um isolador sem problemas a curva gerada pelo software será decrescente quando arrastado o positron no sentido da fase para a terra (para o ponto de fixação na torre de transmissão). Se o gráfico apresentar uma descontinuidade brusca, como na figura 28, significa que há um defeito nesta peça.

### 3.2.3 Dimensão Ambiental

As linhas de transmissão fazem parte do rol de empreendimentos relacionados pela Resolução Conama 237/97 (CONAMA, 1997) como potencialmente poluidores e capazes de causar degradação ambiental, motivo pelo qual sua localização, construção e operação dependem de prévio licenciamento do órgão ambiental competente.

Durante a etapa de licenciamento de uma obra de implantação de LT, a empresa vencedora da licitação deve apresentar diversos documentos, definidos pelo Termo de Referência, o qual é elaborado pelo IBAMA, e estipula os termos para elaboração do Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e após este estudo é realizada a elaboração do Relatório de Impacto Ambiental (RIMA), conforme Campos (2010) explica.

Tanto o EIA como o RIMA irão subsidiar vários órgãos governamentais e a sociedade impactada pelo empreendimento para a decisão a emissão da licença de instalação e pôr fim a licença de operação (CAMPOS, 2010).

**Quadro 4 - Dimensão Ambiental**

(3) DIMENSÃO AMBIENTAL		
<i>Condição/retorno/impacto: (+) positivo   (-) negativo   (/) neutra</i>		
CATEGORIA	MÉTODO DE INSPEÇÃO	
	TERRESTRE	VANT
CABOS	(-) Necessidade de aberturas de acessos, utilização de veículos movidos a combustível fóssil.	(+) Acesso remoto aos locais de difícil acesso, redução da emissão de CO <sub>2</sub> .
CADEIA DE ISOLADORES	(-) Necessidade de aberturas de acessos, utilização de veículos movidos a combustível fóssil.	(+) Acesso remoto aos locais de difícil acesso, redução da emissão de CO <sub>2</sub> .
FAIXA DE SERVIDÃO	(+) Necessidade apenas da MDO humana para realização da inspeção, sem dependência tecnológica.	(+) Acesso remoto aos locais de difícil acesso, redução da emissão de CO <sub>2</sub> .
	(-) Necessidade de aberturas de acessos, utilização de veículos movidos a combustível	(+) Possibilidade do melhor manejo da vegetação sob e adjacente as LT com o uso da

	fóssil.	tecnologia VANT e LiDAR
	(-) Imprecisão na necessidade de roçada/poda da vegetação sob e adjacente as LT.	(-) Limitações de tempo de inspeção em função da baixa autonomia das baterias e necessidade de softwares para análise pós inspeção.
ESTRUTURAS METÁLICAS E FUNDAÇÃO	(-) Necessidade de aberturas de acessos, utilização de veículos movidos a combustível fóssil.	(+) Acesso remoto aos locais de difícil acesso, redução da emissão de CO <sub>2</sub> .

**Fonte: Autoria própria (2022)**

Para Ferreira (2011) estes estudos de impactos ambientais com linhas de transmissão, demonstram que o maior impacto na instalação de LT é a supressão da vegetação nativa, pois além desta interferir em outros impactos, como no deslocamento da fauna, a retirada da vegetação altera as características do habitat, influenciando diretamente no ecossistema local.

Alguns empreendimentos já se utilizam da tecnologia do VANT na fase de implantação dos projetos, por exemplo para o lançamento de cabos guias, que servirão para o lançamento dos cabos para raios e dos condutores da LT. Segundo ENGIE (2020) esta ação é voltada à preservação da mata nativa, contribuindo significativamente para a redução da supressão de vegetação e, por consequência, beneficiando os demais aspectos ambientais atrelados à essa atividade, como a manutenção do habitat da fauna, minimização da exposição do solo à processos erosivos, entre outros.

Com o intuito de reduzir tais impactos o quadro 4 reforça as opções de inspeção terrestre e aérea, principalmente na faixa de servidão. Desta maneira, com os empreendimentos em operação o uso de VANT com o auxílio de softwares de mapeamento topográfico para a escolha do melhor manejo das faixas de servidão, como determinar a melhor técnica para supressão da vegetação ao longo da faixa: o corte raso ou o corte seletivo. Para Campos (2010) o corte raso caracteriza-se pela remoção total da vegetação, enquanto o corte seletivo (poda arbórea) consiste em remover apenas árvores de maior porte, que possam encostar na linha de transmissão.

Contudo, a forma mais eficaz de reduzir as interferências na vegetação

segundo Campos (2010) é a construção de torres de sustentação com altura suficiente para elevar os cabos de transmissão acima da copa das árvores. A utilização dessa técnica, conhecida como alteamento de torres, é recomendada em áreas com elevado grau de preservação e restringe as interferências na vegetação à fase de instalação do empreendimento, pois elimina a necessidade de faixa de passagem e de acessos para manutenção, que passa a ser feita via aérea (helicópteros ou drones).

Em síntese, o capítulo 3 apresentou um estudo comparativo entre os métodos de inspeção terrestre e aéreo por meio de VANT, a partir de três dimensões: humana, técnico-econômica e ambiental. E apresentou para cada dimensão os pontos positivos e negativos para quatro grupos distintos de ativos de uma LT: cabos, isoladores, torres de sustentação de faixa de servidão.

Esta análise foi elaborada a partir de uma análise bibliográfica apresentada no capítulo 2, e contextualizada com o problema desta pesquisa, que trata da inspeção em LT em LDA.

O fato é que as hipóteses abordadas nesta seção, serão contrastadas com a pesquisa de campo realizada a partir da aplicação de um questionário a profissionais de LT. Tema este do próximo capítulo, que fará a apresentação dos resultados obtidos.

O questionário irá contribuir para os objetivos desta pesquisa, em determinar as potencialidades e dificuldades do uso de VANT em inspeções de LT em LDA, a partir da experiência daqueles profissionais que já atuam nesta atividade de inspeção de LT.

#### 4. ANÁLISE E DISCUSSÕES COM BASE NO QUESTIONÁRIO APLICADO

Este capítulo apresenta os resultados e a análise do questionário aplicado a profissionais de LT, que atuam na área de manutenção. Traçando um pequeno perfil do respondente e da sua percepção quanto a atividade de inspeção de LT em LDA com ou auxílio do VANT.

Após a realização da pesquisa bibliográfica sobre as técnicas de inspeção em LT e a dissertação das possíveis potencialidades e dificuldades que cada uma impõe, a presente pesquisa se deparou com a ausência de dados e/ou estatísticas sobre o tema. Por se tratar de informações estratégicas para as empresas, e como dito anteriormente, que podem impactar a competitividade entre pares, não há compartilhamento de dados sobre as inspeções, tão pouco sobre números que reportem algum ganho com o uso de drones.

Para superar este obstáculo a alternativa encontrada foi ouvir os profissionais que atuam na manutenção de linhas de transmissão, por meio da aplicação de um questionário. O intuito era captar a percepção destes trabalhadores sobre os potenciais e dificuldades quanto a inserção do VANT na rotina de trabalho durante as inspeções.

Para acessar os profissionais o autor da pesquisa atuou em duas frentes: a) contato via ouvidoria das empresas de transmissão/distribuição de energia no território nacional; b) busca direta por profissionais de LT por meio de rede social (Linkedin). Através do contato via ouvidoria foi possível acessar quatro empresas (2 da região sul e 2 da região sudeste), o qual colocou o autor em contato com os respectivos encarregados da área de manutenção. Pela rede social foi possível ampliar a pesquisa com contatos de profissionais das demais regiões do Brasil, garantindo uma amostra mais significativa da pesquisa.

O questionário foi elaborado na plataforma *Google Forms*, o que significa que se trata de um formulário digital, e permaneceu aberto para preenchimento entre os dias 16 de setembro e 17 de outubro do ano corrente. O questionário encontra-se o apêndice A e os resultados totalizados no apêndice B. Ao todo foram coletados 60 questionários, a distribuição por região encontra-se na tabela 2. As questões foram distribuídas em três seções, a primeira para coletar informações sobre o(a) profissional (região, experiência, local de trabalho, uso de VANT), a segunda para

coletar a percepção sobre a importância do VANT nas inspeções e a terceira as dificuldades encontradas.

Portanto, o que se segue abaixo são os resultados desta contextualização do ambiente de atuação dos profissionais de LT. O questionário além de coletar a área geográfica na qual o profissional atua também buscou determinar informações como: em qual setor de energia elétrica atua, qual a origem da empresa e a experiência em manutenção de LT. As respostas em relação aos dois primeiros questionamentos foram constatações esperadas, maior parte dos profissionais atua na transmissão (70%) e distribuição (27%). O maior contingente trabalha para empresas públicas de economia mista (73%) a outra parcela significativa trabalha para empresas privadas (18%).

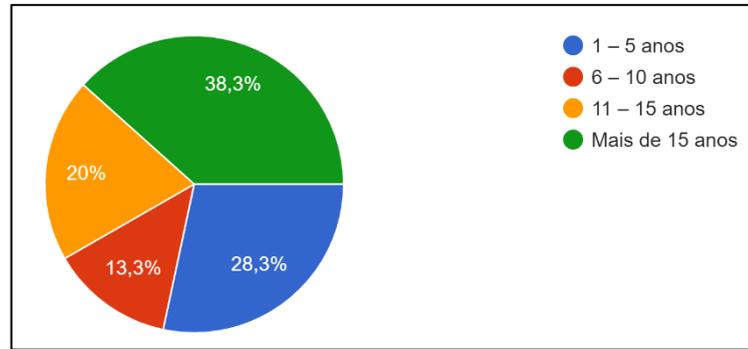
**Tabela 2 - Distribuição dos questionários por região**

REGIÃO	RESPOSTAS
SUL	21
SUDESTE	21
CENTRO OESTE	5
NORDESTE	5
NORTE	2
SUL/SUDESTE/CENTRO OESTE E NORDESTE	2
TODAS AS REGIÕES	1
SUL E SUDESTE	3

Fonte: Autoria própria (2022)

O dado que impressiona, mas é compreensível dado a complexidade e especificidade da atividade, é em relação ao tempo de experiência dos profissionais. Com um corte em 5 anos de experiência, entendendo que é um período significativo para mensurar o conhecimento prático de uma atividade, praticamente 70% dos profissionais que responderam ao questionário possuem mais de 5 anos de experiência. Nota-se que 38% possuem mais de 15 anos de experiência (gráfico 1).

**Gráfico 1 - Tempo de Experiência em manutenção de LT**



Fonte: Autoria própria (2022)

O questionário também fez um recorte a partir dos níveis de tensão aos quais os manutentores estão submetidos. Ao relacionar estas respostas com a questão sobre a participação em inspeções (patrulhas) de LT e a utilização de VANT durante inspeções, o resultado foi satisfatório para o objetivo deste questionário e para a pesquisa como um todo. Para os níveis de alta tensão (A1), ou seja, tensões acima de 230 kV, que são as redes que compõe a chamada Rede Básica, e alta tensão (A2/A3) com tensões entre 69 kV e 138 kV, encontradas no nível de distribuição, foram obtidas 44 respostas, destas, 43 profissionais indicaram que participam de inspeções de LT e 39 já utilizam a tecnologia VANT (tabela 3).

**Tabela 3 - Relação entre nível de tensão da LT e participação em inspeções**

NÍVEL DE TENSÃO	PARTICIPAÇÃO EM INSPEÇÕES DE LT		PARTICIPAÇÃO EM INSPEÇÕES DE LT COM VANT	
	SIM	NÃO	SIM	NÃO
<b>Alta tensão A1 (<math>\geq 230</math> kV)</b>	32	1	31	2
<b>Alta tensão A3/A2 (<math>\geq 69</math> kV e <math>\leq 138</math> kV)</b>	7	0	5	2
<b>Alta tensão A3/A2 (<math>\geq 69</math> kV e <math>\leq 138</math> kV) Alta tensão A1 (<math>\geq 230</math> kV)</b>	4	0	3	1
<b>Média tensão (<math>\geq 13,8</math> kV e <math>\leq 34</math> kV)</b>	4	2	4	2
<b>Média tensão (<math>\geq 13,8</math> kV e <math>\leq 34</math> kV) Alta tensão A3/A2 (<math>\geq 69</math> kV e <math>\leq 138</math> kV)</b>	1	0	1	0

Média tensão ( $\geq 13,8$ kV e $\leq 34$ kV) Alta tensão A1 ( $\geq 230$ kV)	1	0	1	0
Baixa tensão ( $\leq 13,8$ kV) Média tensão ( $\geq 13,8$ kV e $\leq 34$ kV)	1	3	1	3
Baixa tensão ( $\leq 13,8$ kV) Média tensão ( $\geq 13,8$ kV e $\leq 34$ kV) Alta tensão A3/A2 ( $\geq 69$ kV e $\leq 138$ kV)	1	0	1	0
Baixa tensão ( $\leq 13,8$ kV) Média tensão ( $\geq 13,8$ kV e $\leq 34$ kV) Alta tensão A3/A2 ( $\geq 69$ kV e $\leq 138$ kV) Alta tensão A1 ( $\geq 230$ kV)	3	0	2	1

Fonte: Autoria própria (2022)

O questionário também apresentou cinco opções do que se consideraria LDA, o resultado concentrou as respostas em quatro LDA, ratificando a determinação destes locais, conforme a tabela 4.

Tabela 4 - Determinação dos LDA

LOCAIS DE DIFÍCIL ACESSO	NÚMERO DE OBSERVAÇÕES
Áreas alagadas, rios, lagos, igapós, igarapés	52
Serra do Mar ou montanhas em geral	50
Áreas de preservação ambiental	38
Áreas de servidão ocupadas de forma irregular	32
Grandes centros urbanos	8
Outros	5

Fonte: Autoria própria (2022)

Tais dados são importantes para auxiliar na análise das questões quantitativas sobre as potencialidades e dificuldades no uso de drones em inspeções de LT em LDA, a ser realizado na próxima seção. Pode-se considerar que pelo nível de experiência dos manutentores, suas respostas traduzem de forma fidedigna as potencialidade e dificuldades do VANT nas inspeções de LT em LDA.

#### 4.1 Análise Quantitativa das Questões:

Por fim, o questionário abordou através de perguntas quantitativas a importância e as dificuldades no uso de drones nas inspeções de LT. As dimensões humana, técnico-econômica e ambiental, utilizadas no capítulo anterior, estão embutidas nas indagações. Em suma, oito proposições sobre a importância e seis proposições referente as dificuldades na aplicação do VANT nas inspeções de LT em LDA estão explicitadas no questionário.

Para captar a opinião dos profissionais a respeito do tema da pesquisa, as proposições foram construídas com a escala multi-item. Também chamada de escala de Likert<sup>10</sup> cumpre a tarefa de mensurar a percepção de um grupo em específico sobre um determinado tema. A escala utilizada nas respostas é de 1 a 5, onde 1 o respondente discorda totalmente da proposição e 5 concorda totalmente. O 3 representa a neutralidade em relação a questão. Neste sentido, a escala Likert, de forma simples, permite computar pontos a partir do somatório da escala atribuída a cada questão. Como a pesquisa teve 60 questionários respondidos a média de referência (neutralidade) será 180, portanto o que for acima deste valor entende-se que o respondente está inclinado a concordar com a proposição, e o que estiver abaixo de 180 a discordar.

A análise do questionário também requer um recorte importante, do ponto de vista dos objetivos desta pesquisa, como apresentado na tabela 3, o questionário teve participação de profissionais que atuam em diversos espectros de tensão: baixa, média, alta ou em ambos. Portanto, faz-se necessário olhar para as respostas atribuídas a aqueles que indicaram trabalhar apenas com alta tensão. Para este grupo de respostas, conta-se com 44 questionários, ou 73% da amostra. Neste caso, a referência será 132 pontos.

##### 4.1.1 A importância do VANT durante as inspeções em LT de alta tensão

---

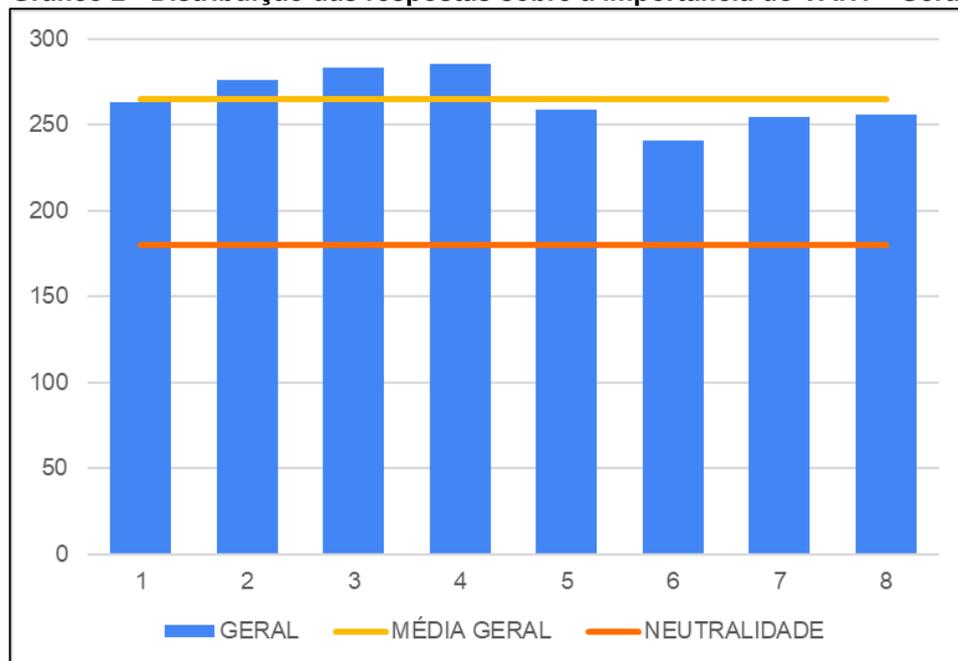
<sup>10</sup> A Escala Likert, também denominada de mensuração multi-item, é um instrumento científico de observação e mensuração de fenômenos sociais idealizada com a finalidade de medir as atitudes por meio das opiniões de forma objetiva. Tal proposição obteve grande reconhecimento por parte de academia e sua aplicação se estende até os dias atuais. As escalas com esse intuito são também denominadas escalas de opinião (LIKERT, 1932).

Nesta seção do questionário aplicado, o objetivo era captar quais pontos são determinantes para justificar o uso do VANT em inspeções de LT em LDA. Tomando como base a pesquisa bibliográfica realizada anteriormente, apresenta-se 8 questões para que os respondentes ponderem sobre a sua importância:

1. Redução no tempo de inspeção;
2. Redução dos riscos de acidentes de trabalho com os profissionais de LT;
3. Entrada em locais de difícil acesso;
4. Maior possibilidade de coleta de imagens da LT;
5. Qualidade da inspeção de modo geral;
6. Redução dos impactos ambientais;
7. Redução dos custos da inspeção;
8. Detecção de anomalias na LT de forma mais eficaz.

O gráfico 2 apresenta o resultado do grupo geral (todas os 60 questionários), na qual a média das respostas ficou em 265 pontos, acima dos 180 de neutralidade, conforme o gráfico demonstra. Com este cenário, é possível concluir que para este grupo, a utilização de drones em inspeções de LT em LDA é amplamente justificado diante das 8 proposições listadas.

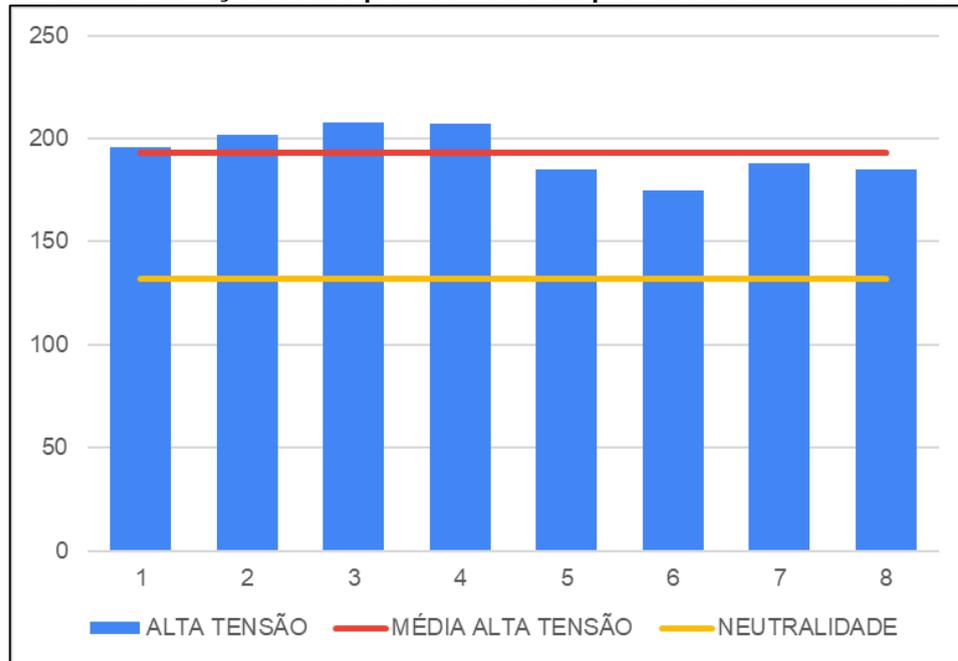
**Gráfico 2 - Distribuição das respostas sobre a importância do VANT - Geral**



O gráfico 3, apresenta-se o resultado para o grupo de alta tensão, o que

percebe-se é a mesma tendência do grupo geral, ou seja, sem discrepâncias. Com uma análise mais minuciosa, destaca-se que a questão 6, que aborda a redução dos impactos ambientais, obteve a menor pontuação entre as oito questões.

**Gráfico 3 - Distribuição das respostas sobre a importância do VANT - Alta Tensão**



Fonte: Autoria própria (2022)

Ou seja, a percepção da maioria dos respondentes entende que há uma redução no impacto ambiental com o uso de VANT, mas com uma parcela maior de opções pela neutralidade sobre este quesito. Algo que se repetiu nos dois grupos. Por outro lado, ao avaliar a afirmação com maior pontuação houve uma pequena diferença entre os grupos. No geral o tópico 4 (maior possibilidade de coleta de imagens da LT) recebeu a maior pontuação afirmativa. Já no grupo alta tensão, o tópico 3 (entrada em locais de difícil acesso) recebeu a maior pontuação afirmativa.

Diante deste resultado, conforme exposto anteriormente nesta pesquisa, face a necessidade de conectar a geração aos consumidores, a Rede Básica do SIN necessita transpor os mais diversos biomas e geografias que formam o território brasileiro. Os LDA (os quais estão apontadas na tabela 4) são uma realidade diária para os manutentores de LT, e isto pode justificar a preponderância nas respostas admitidas na pesquisa.

Por fim, conforme o gráfico 3 representa, o grupo alta tensão reforça a mesma tendência de resultados do grupo geral. Atingindo uma média de 193 pontos,

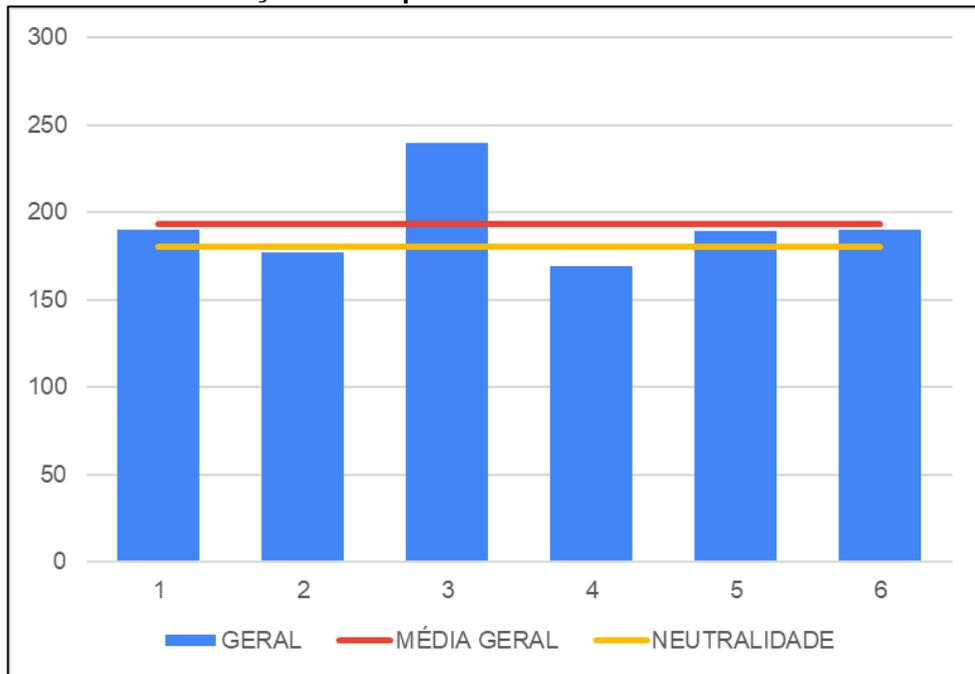
considerando como média de neutralidade 132 pontos (valor base dos 44 questionários), ou seja, o uso do VANT em inspeções de LT em LDA é importante, considerando as afirmações listadas no questionário.

#### 4.1.2 As dificuldades do uso da tecnologia do VANT durante as inspeções em LT

Para captar a percepção dos profissionais quanto as possíveis dificuldades na aplicação da tecnologia VANT nas inspeções, seis hipóteses foram apresentadas no questionário, sendo:

1. As empresas não investem em treinamento adequado;
2. Restrições impostas pela ANAC (Agência Nacional de Aviação Civil) para uso dos Drones;
3. Dificuldade de operação devido questões climáticas (ventos, chuva, outros);
4. Falta de interesse das empresas para adquirir a tecnologia dos Drones;
5. Custo elevado de aquisição e manutenção dos Drones;
6. Dificuldade no tratamento dos dados (imagens) coletadas pelo Drone.

Diferentemente das questões que trataram da importância, as dificuldades apresentaram uma dispersão maior nas opiniões dos profissionais. Neste cenário o que se vê são respostas próximas a média de neutralidade, em ambos os grupos observados, conforme gráficos 4 e 5.

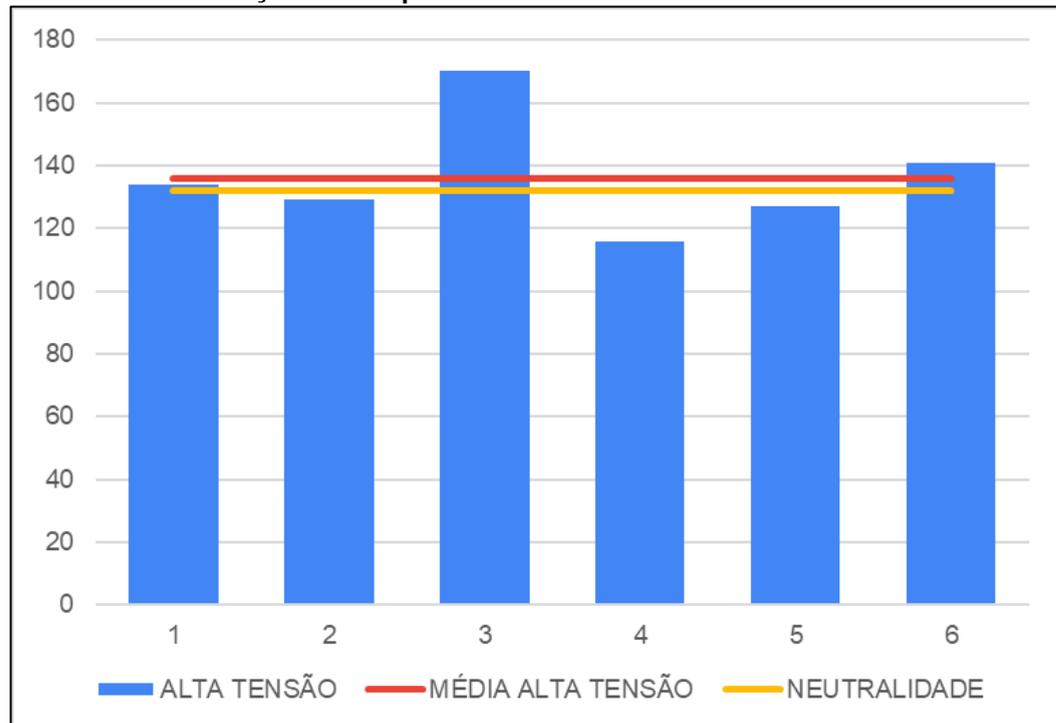
**Gráfico 4 - Distribuição das respostas sobre as dificuldades do VANT - Geral**

Fonte: Autoria própria (2022)

Enquanto no grupo geral (gráfico 4) apenas as questões 2 (restrições impostas pela ANAC para uso dos Drones) e 4 (falta de interesse das empresas para adquirir a tecnologia dos Drones) a percepção dos respondentes é de que estes temas não são fatores que dificultam o uso da tecnologia. No grupo de alta tensão (gráfico 5) além da 2 e 3, a afirmativa 5 (custo elevado de aquisição e manutenção dos Drones) também acrescentou o rol de fatores que não interferem na tecnologia VANT, segundo o levantamento.

A grande unanimidade, segundo a amostra em ambos os grupos, como algo que dificulta a operação com VANT são as questões climáticas, alternativa 3. Compreensível a resposta, pois o equipamento em grande parte dos modelos possui limitações. Os procedimentos de segurança para com quem opera como das instalações a serem vistoriadas devem ser rígidos.

Por fim, as afirmações 1 (as empresas não investem em treinamento adequado) e 6 (dificuldade no tratamento dos dados (imagens) coletadas pelo Drone) tenderam ao “concordo parcialmente” como resultado final. A análise pode ter como explicação o fato de as empresas estarem em diferentes estágios de utilização da tecnologia VANT.

**Gráfico 5 - Distribuição das respostas sobre as dificuldades do VANT - Alta Tensão**

Fonte: Autoria própria (2022)

Se a empresa adquirir a tecnologia, diga-se completa (VANT e softwares de tratamento das imagens), e entrega aos profissionais sem investir em um treinamento adequado, ou ainda se fornece apenas o drone, que sirva puramente para a coleta de imagens e tratamento manual das informações coletadas durante as inspeções. Este cenário corrobora para o resultado das afirmações 1 e 6 terem ficado acima da neutralidade. Já o oposto, quando as empresas investem em treinamento e recursos, o entendimento dos profissionais é natural que não seja uma dificuldade o VANT.

#### 4.1.3 Comentários e sugestões

Ao final do questionário foi deixado uma questão aberta para que os profissionais deixassem algum comentário ou sugestão. Ao todo foram 14 contribuições, que em resumo ressaltaram os pontos positivos, destacaram as dificuldades e trouxeram novas questões, as quais não foram previstas no questionário. Por exemplo, a baixa autonomia das baterias dos drones, a qual para 3 respondentes é um complicador, pois limita a inspeção, quadro 5.

Sobre o tempo de duração das inspeções houve um comentário que quantificou este valor como sendo de 50% (quadro 6), algo que foi objeto desta pesquisa em

revisão bibliográfica, mas sem êxito.

**Quadro 5 - Comentários: autonomia das baterias do VANT**

<b>AUTONOMIA DAS BATERIAS</b>				
<b>Dados do Profissional</b>				<b>Comentários</b>
<b>Tempo na área</b>	<b>Setor</b>	<b>Região</b>	<b>Nível de tensão na qual atua</b>	
>15 anos	Transmissão	Sul	Alta tensão A1 (≥ 230 kV)	O investimento deve compensar, mas hoje não compensa. <b>Falta autonomia, baixo tempo de voo, muita recarga de bateria, necessário mais tempo de voo</b> , maior qualidade de imagens e nuvens de pontos.
>15 anos	Transmissão	Sudeste	Alta tensão A1 (≥ 230 kV)	Outro ponto negativo: baixa autonomia das baterias.
11 – 15 anos	Transmissão	Nordeste	Alta tensão A3/A2 (≥ 69kV e ≤ 138 kV)	Eu uso o drone em caso específico de difícil acesso. <b>A sua bateria tem a duração de 20 minutos em uma linha de transmissão de 200km e impossível fazer inspeção poste a poste.</b>

Fonte: Autoria própria (2022)

Outros dois participantes do questionário reforçaram as potencialidades na utilização do drone nas inspeções em relação aos LDA e na qualidade da inspeção, conforme quadro 6.

**Quadro 6 - Comentários: redução no tempo, LDA e qualidade da inspeção**

<b>REDUÇÃO TEMPO / LDA / QUALIDADE DA INSPEÇÃO</b>				
<b>Dados do Profissional</b>				<b>Comentários</b>
<b>Tempo na área</b>	<b>Setor</b>	<b>Região</b>	<b>Nível de tensão na qual atua</b>	
>15 anos	Transmissão	Sudeste	Alta tensão A1 (≥ 230 kV)	Drone reduziu em torno de 50% do nosso Hh em inspeções de faixa, terrestre com subida e inspeção de religamento automático
1 – 5 anos	Transmissão	Centro Oeste	Alta tensão A1 (≥ 230 kV)	A utilização do drone é excelente na questão dos isoladores e jumpers, mas na parte das estruturas das torres, ainda não encontramos um método eficiente de identificar anormalidades (ausência de parafuso, ausência de pall nuts...).
Mais de 15 anos	Transmissão	Sudeste	Alta tensão A1 (≥ 230 kV)	Boa tecnologia proporcionando ângulos de imagem diferentes da subida (por fora da estrutura) e complementares em caso de

				situações de difícil análise, propícia para casos de bom estado de estruturas e vãos (inspeções de rotina), ótimo para primeira inspeção e se necessário completar com subida. Dificuldade de análise em tempo real, exige bons acessórios como Tablets e abrigo da claridade do campo. Facilita inspeções de urgência e emergência em locais de difícil acesso, principalmente em atendimento de falhas.
11 – 15 anos	Transmissão	Nordeste	Alta tensão A3/A2 (≥ 69kV e ≤ 138 kV)	<b>Eu uso o drone em caso específico de difícil acesso.</b> A sua bateria tem a duração de 20 minutos em uma linha de transmissão de 200km e impossível fazer inspeção poste a poste.
11 – 15 anos	Transmissão	Nordeste	Alta tensão A1 (≥ 230 kV)	Fazer inspeção com drone é muito bem melhor no lugar difícil acesso onde tem montanhas tem áreas alagadas

Fonte: Autoria própria (2022)

Em relação ao tratamento das imagens e demais informações coletadas durante a inspeção com drones outros cinco comentários apresentados no quadro 7, reforçaram as dificuldades neste quesito.

Quadro 7 - Comentários: tratamento das informações coletadas pelo VANT

TRATAMENTO DAS INFORMAÇÕES				
Dados do Profissional				Comentários
Tempo na área	Setor	Região	Nível de tensão na qual atua	
>15 anos	Distribuição	Sul	Baixa tensão (≤ 13,8 kV), Média tensão (≥ 13,8 kV ≤ 34 kV), Alta tensão A3/A2 (≥ 69kV e ≤ 138 kV)	O investimento deve compensar, mas hoje não compensa. Falta autonomia, baixo tempo de voo, muita recarga de bateria, necessário mais tempo de voo, <b>maior qualidade de imagens e nuvens de pontos.</b>
>15 anos	Transmissão	Nordeste, Centro Oeste, Sudeste, Sul	Alta tensão A3/A2 (≥ 69kV e ≤ 138 kV), Alta tensão A1 (≥ 230 kV)	Atualmente a maior dificuldade é o armazenamento dos dados.
11 – 15 anos	Transmissão	Sul	Alta tensão A1 (≥ 230 kV)	O maior desafio é na área de processamento das imagens para detecção de falhas e identificação de componentes. Para isso é necessária uma rede neural treinada ou aplicar filtros digitais para extrair informações importantes das imagens que o drone faz aquisições.

Mais de 15 anos	Transmissão	Sudeste	Alta tensão A1 ( $\geq 230$ kV)	Tratamento de informação ainda é um gargalo
1 – 5 anos	Geração e Transmissão	Sudeste	Média tensão ( $\geq 13,8$ kV $\leq 34$ kV) Alta tensão A3/A2 ( $\geq 69$ kV e $\leq 138$ kV)	Dificuldade pós gerenciamento da quantidade de imagens e vídeos obtidos.

**Fonte: Autoria própria (2022)**

Aqui encerra-se a análise do questionário aplicado, o autor entende que o objetivo foi atingido ao colher a percepção e demais opiniões daqueles que executam as atividades de inspeção de LT com VANT. O resultado obtido corrobora para as questões abordadas na análise bibliográfica realizada no capítulo 3, as quais levam a certificar as potencialidades do drone na atividade de inspeção de LT, principalmente em LDA.

Portanto, esta seção apresenta este estudo de campo, através de um questionário, o qual captou a percepção dos que atuam em inspeções de LT, ratificando hipóteses apresentadas em seções anteriores, como o que seriam LDA e os possíveis ganhos e perdas no uso do drone para esta atividade.

Ter esta pesquisa enriqueceu esta atividade, ao não se obter dados das empresas que atuam no setor, foi uma forma de demonstrar de forma científica e organizada, as respostas ao problema de pesquisa inicial.

No próximo capítulo serão realizadas as considerações finais, considerando todo o contexto ao qual este trabalho percorreu ao comparar os métodos de inspeção terrestre e aéreo, ao indagar os profissionais sobre as virtudes e desafios impostos pela tecnologia VANT, e apresentando as conclusões alcançadas e os desafios que ficam para trabalhos futuros.

## 5. CONCLUSÃO

Desde a introdução desta pesquisa foi enfatizado a importância das LT para o SEP. A confiabilidade no transporte da energia gerada nas mais diversas matrizes para os centros consumidores requer um plano de manutenção que garanta a disponibilidade dos ativos. Uma revisão bibliográfica apresentou o que constitui e aparamenta uma LT, destaca-se que pouco se modificou nas últimas décadas em questão de engenharia e norma sobre o projeto de LT.

Com o apoio de materiais de organizações como CIGRE e IEEE relatou-se sobre as melhores práticas para manutenção de LT. Aqui vale o destaque para a importância da prática de inspeção, como ferramenta objetiva de preventiva e preditiva dos componentes que formam as LT. A inspeção terrestre, tradicional e amplamente utilizada pelas empresas transmissoras e distribuidoras de energia elétrica é o principal método de inspeção. Sabe-se que as inspeções aéreas com o uso de helicópteros também se aplicam principalmente para os LDA.

No entanto esta pesquisa teve como objetivo demonstrar que a inserção da tecnologia VANT pode ser um excelente aliado aos manutentores nesta atividade essencial ao SEP. O uso de drones não é nenhuma novidade no setor, porém a falta de informações e dados que corroborem para uma avaliação por parte dos gestores de manutenção, por exemplo, pode inibir ou retardar a adoção deste recurso.

Neste sentido, em um primeiro momento traça-se um paralelo entre a inspeção terrestre (com uso de escalada) e a inspeção aérea (com uso do VANT), na qual se buscou apresentar os potenciais e dificuldades de cada um avaliando as dimensões humana, técnico-econômica e ambiental de quatro grupos que compõe a LT: cabos, isoladores, estruturas e faixa de servidão.

Isto posto, como alternativa a falta de dados concretos para comparar os métodos de inspeção (terrestre e aéreo com VANT), esta pesquisa optou por aplicar um questionário voltado aos profissionais de manutenção de LT de alta tensão. O objetivo era captar a percepção e opinião de modo geral sobre a inserção da tecnologia VANT no trabalho em campo.

O resultado da pesquisa ratificou as conclusões obtidas por uma primeira análise teórica. Sim, o drone é eficaz nas inspeções: reduz o tempo, reduz o risco de acidentes, melhora a qualidade da inspeção. Porém, existem dificuldades, como a

baixa autonomia de baterias e dificuldade no tratamento de imagens e softwares que tragam mais autonomia a inspeção e no pós inspeção.

Diante do que foi pesquisado e proposto para esta pesquisa, não está se reinventado a roda, a tecnologia do VANT existe a alguns anos e sua disseminação ocorre a passos largos nas mais variadas aplicações. O que se apresentou neste trabalho pode se tratar como um retrato de momento, no qual a tecnologia ainda não é equiparada para todos os agentes do setor de transmissão e distribuição de energia elétrica.

Fica nítido que existem empresas que apostaram neste recurso a mais tempo, e avançam para o uso de redes neurais, pontos de nuvem por exemplo, afim de extrair o máximo do potencial que o drone permite com a integração com ferramentas de IA. Outros ainda estão iniciando, treinando seus colaboradores para manusear este dispositivo, que cumpre o papel basilar de captar imagens.

O autor acredita que dado a importância da LT para a economia e as dificuldades de manutenção de LT em LDA a disseminação do VANT se dará rapidamente, e se tratará não como novidade, mas como ferramenta do cotidiano, como uma câmera termográfica. Também é saudável destacar que o método de inspeção terrestre é fundamental e não será substituído pela implantação da inspeção aérea por meio de VANT, pode-se dizer que são complementares. Conforme a presente pesquisa apresentou ao leitor, a tecnologia VANT é uma fonte agregadora de recursos humanos, técnicos, econômicos e ambientais a atividade de inspeção de LT, principalmente em LDA.

### **5.1 Sugestão de Trabalhos Futuros**

Como sugestão de trabalhos futuros, seria interessante um estudo de caso de aplicação do VANT em inspeções de LT, assim poderia se traçar estatísticas de indicadores de manutenção. Mas o grande nicho é no “adestramento” dos drones, ou seja, como capacitar por meio de redes neurais ou outros recursos de IA que a detecção de anomalias seja feita de forma automatizada, assim como o próprio percurso de voo do VANT.

Explorar este caminho pode fazer parte de um mercado promissor para engenheiros elétricos e de automação!

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, A. B. BISPO, D. CAMACHO, J. R. DELAIBA, A. C. SILVA, S. F. P. **Efeito de distribuição da corrente em cabos guarda padrão e OPGW de linhas aéreas.** III Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos – SBSE, Belém, PA, Brasil, 2010. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/271528942\\_Efeito\\_de\\_Distribuicao\\_da\\_Corrente\\_em\\_CabosGuarda\\_Padrao\\_e\\_OPGW\\_de\\_Linhas\\_Aereas\\_Atraves\\_do\\_Metodo\\_de\\_Elementos\\_Finitos/figures?lo=1](https://www.researchgate.net/publication/271528942_Efeito_de_Distribuicao_da_Corrente_em_CabosGuarda_Padrao_e_OPGW_de_Linhas_Aereas_Atraves_do_Metodo_de_Elementos_Finitos/figures?lo=1). Acesso em: 24 de setembro de 2022.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5422: Projeto de linhas aéreas de transmissão de energia elétrica.** Rio de Janeiro, 1985.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5462: Confiabilidade e Manutenibilidade.** Rio de Janeiro, 1994
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12304: Limites e métodos de medição de rádio perturbação em equipamento para tecnologia da informação - (ETI).** Rio de Janeiro, 2012.
- BARBOSA, C. D. F. **Impactos do desempenho das emendas dos cabos de linhas de transmissão na confiabilidade de redes elétrica.** Campinas. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo – Unicamp (Tese de Doutorado), 2011.
- BELO MONTE TRANSMISSORA DE ENERGIA. **RIMA – Relatório de Impactos Ambientais das Linhas de Transmissão CC 800kV Xingu – Estreito.** JGP Consultoria e Participações, 2014.
- BEZERRA, R. C. TOSTES, J. A. S. TEIXEIRA, J. M. T. LEITE, R. C. **Estudo para Aumento da Confiabilidade de Isoladores Poliméricos nas Linhas de Transmissão da Eletronorte.** III Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos – SBSE, Belém, PA, Brasil, 2010. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/262373233\\_Estudo\\_para\\_Aumento\\_da\\_Confiabilidade\\_de\\_Isoladores\\_Polimericos\\_nas\\_Linhas\\_de\\_Transmissao\\_da\\_Eletronorte](https://www.researchgate.net/publication/262373233_Estudo_para_Aumento_da_Confiabilidade_de_Isoladores_Polimericos_nas_Linhas_de_Transmissao_da_Eletronorte). Acesso em: 24 de setembro de 2022.
- BICHELS, A. **Sistemas elétricos de potência: métodos de análise e solução.** Curitiba: EDUTFPR, 2018.
- BLUNK, L. **Análise de vegetação sob linhas de transmissão com uso de dados de sensores remotamente situados.** Blumenau, Universidade Regional de Blumenau (Dissertação de Mestrado), 2019.
- BRASIL. ANAC. Regulamento brasileiro da aviação civil especial n° 94 de 01 de junho de 2021. **Estabelece os requisitos gerais para aeronaves não tripuladas de uso civil.** Disponível em: [https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/rbha-e-rbac/rbac/rbac-e-94/@@display-file/arquivo\\_norma/RBACE94EMD01.pdf](https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/rbha-e-rbac/rbac/rbac-e-94/@@display-file/arquivo_norma/RBACE94EMD01.pdf). Acesso em: 22 de maio de 2022.

BRASIL. ANEEL. Resolução Normativa ANEEL nº 67 de 08 de junho de 2004. **Estabelece os critérios para composição da rede básica do Sistema Interligado Nacional - SIN, e altera os arts. 18 e 21 da Resolução ANEEL 281 de 01.10.1999; revoga a Resolução 433 de 10.11.2000.** Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2004067.pdf>. Acesso em: 20 de maio de 2022.

BRASIL. ANEEL. Nota Técnica nº 336/2016 de 06 de outubro de 2016. **Estabelece os procedimentos e critérios a serem utilizados no cálculo do custo de capital a ser adicionado à Receita Anual Permitida de cada concessionária de transmissão abrangida pela Lei nº 12.783/2013, em consonância com a Portaria MME nº 120/2016.** Disponível em: [http://www.consultaesic.cgu.gov.br/busca/dados/Lists/Pedido/Attachments/983638/RESPOSTA\\_PEDIDO\\_48581-002919-2016-00.pdf](http://www.consultaesic.cgu.gov.br/busca/dados/Lists/Pedido/Attachments/983638/RESPOSTA_PEDIDO_48581-002919-2016-00.pdf). Acesso em 08 de outubro de 2022.

BRASIL. ANEEL. Resolução Normativa nº 861, de 26 de novembro de 2019. **Dispõe sobre a definição da Base de Dados das Instalações de Transmissão de energia elétrica e dá outras providências.** Disponível em: <https://portal.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-normativa-n-861-de-26-de-novembro-de-2019-231012964>. Acesso em: 22 de maio de 2022.

BRASIL. CONAMA. Resolução CONAMA nº 237 de 19 de dezembro de 1997. **Dispõe sobre os procedimentos e critérios utilizados no licenciamento ambiental e no exercício da competência, bem como as atividades e empreendimentos sujeitos ao licenciamento ambiental.** Disponível em: [https://cetesb.sp.gov.br/licenciamento/documentos/1997\\_Res\\_CONAMA\\_237.pdf](https://cetesb.sp.gov.br/licenciamento/documentos/1997_Res_CONAMA_237.pdf). Acesso em 09 de outubro de 2022.

BRASIL. Decreto nº 35.851, de 16 de julho de 1954. **Regulamenta o art. 151, alínea c, do Código de Águas (Decreto nº 24.643, de 10 de julho de 1934).** Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/atos/decretos/1954/d35851.html](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/atos/decretos/1954/d35851.html). Acesso em: 18 de maio de 2022.

BRASIL. DECEA. Portaria nº 112, de 22 de maio de 2020. **Aprova a reedição da ICA 100-40, Instrução sobre aeronaves não tripuladas e o acesso ao espaço aéreo.** Disponível em: [https://www.gov.br/defesa/pt-br/arquivos/cartografia/divcar/2021/ica\\_100-o\\_trafegoaereo\\_22\\_05\\_2020.pdf](https://www.gov.br/defesa/pt-br/arquivos/cartografia/divcar/2021/ica_100-o_trafegoaereo_22_05_2020.pdf). Acesso em: 22 de maio de 2022.

BRASIL. Lei nº 8.987, de 13 de fevereiro de 1995. **Dispõe sobre o regime de concessão e permissão da prestação de serviços públicos previsto no art. 175 da Constituição Federal, e dá outras providências.** Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l8987cons.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l8987cons.htm). Acesso em: 20 de maio de 2022.

BRASIL. Lei nº 11.934, de 5 de maio de 2009. **Dispõe sobre limites à exposição humana a campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos.** Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2009/lei/l11934.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/l11934.htm). Acesso em: 18 de maio de 2022.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR 10 - Segurança em instalações e serviços em eletricidade**. Brasília: Ministério do Trabalho e Emprego, 2004. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-previdencia/pt-br/composicao/orgaos-especificos/secretaria-de-trabalho/inspecao/seguranca-e-saude-no-trabalho/normas-regulamentadoras/nr-10.pdf>. Acesso em: 17 maio de 2022.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Previdência. **Análise de Impacto Regulatório - Norma Regulamentadora Nº 10 – Segurança no Trabalho em Instalações e Serviços Eletricidade**. Brasília: Escola Nacional de Administração Pública (ENAP), 2021.

BROCA, A. **Live high voltage maintenance with helicopter and human external cargo**. 12th International Conference on Live Maintenance (ICOLIM), Salon de Provence, France, 2017. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=7964139>. Acesso em: 22 de setembro de 2022.

CAMPOS, O. **Estudo de caso sobre impactos ambientais de linhas de transmissão na Região Amazônica**. BNDES Setorial nº32, p231-266. Rio de Janeiro: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, 2010.

CELG-PAR. **Especificação técnica para limitação do uso de faixa de linhas de subtransmissão e transmissão da CELG-PAR - 69 kv, 138 kv e 230 kv**. Goiânia, 2010. Disponível em: <https://www.eneldistribuicao.com.br/go/documentos/ET-LTP.pdf>. Acesso em: 18 de maio de 2022.

CEMIG. **CrITÉrios de interferências com faixas de linhas de distribuição e transmissão**. Belo Horizonte, 2015. Disponível em: [https://www.cemig.com.br/wpcontent/uploads/2020/07/pels\\_5621\\_000001p-3.pdf](https://www.cemig.com.br/wpcontent/uploads/2020/07/pels_5621_000001p-3.pdf). Acesso em: 20 de maio de 2022.

CIGRÉ. **Management of Existing Overhead Transmission Lines**. Technical Brochure 175. Working Group 22.13, 2000.

CIGRÉ. **CrITÉrios de Avaliação de Isoladores em Serviço**, Brochura Técnica 002. Grupo de Trabalho B2.03, 2008.

DJI. **Ampliando as operações de inspeção de linhas de transmissão com tecnologia de drones**. Disponível em: <https://store.dji.com/br/guides/operacoes-inspecao-linhas-transmissao-tecnologia-drones/>. Acesso em: 31 de maio de 2022.

DOMINGOS, L. Canoenses vivendo sob risco e em meio a muita tensão. **Diário de Canoas**, Canoas, 08 de outubro de 2021. Disponível em: <https://www.diariodecanoas.com.br/noticias/canoas/2021/10/08/canoenses-vivendo-sob-risco-e-em-meio-a-muita-tensao.html>. Acesso em: 25 de setembro de 2022.

ELETROMECHAN. **Produtos – Isoladores**. Disponível em: <https://www.eletromecan.com.br/produtos/>. Acesso em: 30 de maio de 2022.

ENGIE. **Gralha Azul utiliza sistema inovador para o lançamento de cabos das linhas de transmissão**. Notícias – Sistema de Transmissão Gralha Azul, 04 de

setembro de 2020. Disponível em: <https://www.sistemagralhaazul.com.br/blog/gralha-azul-sistema-inovador-para-cabos-das-linhas-de-transmissao/>. Acesso em: 09 de outubro de 2022.

EPRI. **EPRI Transmission Line Reference Book: Wind-Induced Conductor Motion**. Palo Alto, CA: 2005.

EROSÃO coloca em risco torre de transmissão de energia em Belém. **G1**, Pará, 29 de junho de 2021. Disponível em: <https://g1.globo.com/pa/para/noticia/2021/06/29/erosao-coloca-em-risco-torre-de-transmissao-de-energia-em-belem.ghtml>. Acesso em: 25 de setembro de 2022.

FELIPE, C. **China Southern Power Grid desenvolve técnica de inspeção de redes elétricas com drones**. Mundo Conectado, 2019. Disponível em: <https://mundoconectado.com.br/noticias/v/9698/china-southern-power-grid-desenvolve-tecnica-de-inspecao-de-redes-eletricas-com-drones>. Acesso em: 17 de setembro de 2022.

FERREIRA, J.B. **Estudo de impactos ambientais e medidas mitigadoras para uma obra de linhas de transmissão de energia elétrica**. Florianópolis, Universidade Federal de Santa Catarina, Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia), 2011.

FLINKER, A. FINKLER, D. R. CASTRO, J. L. S. MILKE, T. F. **Relação do crescimento econômico e consumo de energia elétrica**. XXIV Seminário de Iniciação Científica, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, 2016.

FLUKE. **Introduction to Thermography- Principles**. ORLAND PARK: American Technical Publishers, 2009.

FONTANARI, A. A. L. **Sistema de planejamento e controle de missão de um veículo aéreo não-tripulado aplicado em redes de sensores sem fio (Tech. Rep.)**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2011.

FRACASSO, B. **Leilões de transmissão de energia elétrica: determinantes dos deságios**. Brasília, Instituto Serzedello Corrêa – Escola Superior de do Tribunal de Contas da União (Pós-graduação em auditoria financeira), 2019.

FUCHS, R. D. **Transmissão de Energia Elétrica, Linhas Aéreas, Teoria da Linhas em Regime Permanente**. Rio de Janeiro: LTC/EFEI, 1977.

FURNAS. **Cuidados com linhas de transmissão**. Disponível em: <https://www.furnas.com.br/subsecao/276>. Acesso em: 20 de maio de 2022.

FURTO e desmonte de peças de torres de transmissão podem causar apagão em Fortaleza e região metropolitana, alerta Chesf. **G1**, Ceará, 17 de setembro de 2021. Disponível em: <https://g1.globo.com/ce/ceara/noticia/2021/09/17/furto-e-desmonte-de-pecas-de-torres-de-transmissao-podem-causar-apagao-em-fortaleza-e-regiao-metropolitana-alerta-chesf.ghtml>. Acesso em: 25 de setembro de 2022.

GEBRAN, A. P. **Manutenção e Operação de Equipamentos de Subestações**. Porto Alegre: Ed.Bookman, 2013.

HT CABOS. **Cabo OPGW: você sabe o que é?** Disponível em: <https://htcabos.com.br/noticias/cabo-opgw-voce-sabe-o-que-e/>. Acesso em: 17 de maio de 2022.

IEEE. **Guide for Unmanned Aerial Vehicle-Based Patrol Inspection System for Transmission Lines**. Transmission and Distribution Committee, 2020.

INCÊNDIO sob fios de alta tensão atinge Floresta Nacional, em Brasília. **G1**, Brasília, 01 de setembro de 2014. Disponível em: <https://g1.globo.com/distrito-federal/noticia/2014/09/incendio-sob-fios-de-alta-tensao-atinge-floresta-nacional-em-brasilia.html>. Acesso em: 25 de setembro de 2022.

INPE. **Sensoriamento Remoto: LiDAR**. Disponível em: [http://www.dsr.inpe.br/DSR/areas-de-atuacao/sensores-plataformas/lidar#:~:text=O%20LIDAR%20\(Light%20Detection%20and,fonte%20de%20luz%2C%20o%20laser](http://www.dsr.inpe.br/DSR/areas-de-atuacao/sensores-plataformas/lidar#:~:text=O%20LIDAR%20(Light%20Detection%20and,fonte%20de%20luz%2C%20o%20laser). Acesso em: 04 de outubro de 2022.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 21895: Categorization and classification of civil unmanned aircraft systems**, 2020.

INTERNACIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION. **ICAO – Manual on Remotely Piloted aircraft Systems (RPAS)**. Montreal, 2015.

ISA CETEEP. **Isa Cteep é pioneira no uso de drones para remover e incinerar objetos em linhas de transmissão de energia**. Disponível em: <https://www.isacteep.com.br/pt/noticias/isa-ctEEP-e-pioneira-no-uso-de-drones-para-remover-e-incinerar-objetos-em-linhas-de-transmissao-de-energia>. Acesso em: 22 de setembro de 2022.

JUDY CABOS. **Cabo al. Nu caa/acsr c/alma de aço 4 awg – Swan**. Disponível em: <http://judycabos.com.br/produto/cabo-al-nu-caaacsr-calma-de-aco-4-awg-cod-igo-swan-rkg/>. Acesso em: 30 de maio de 2022.

KARDEC, A.; NASCIF, J. **Manutenção: função estratégica**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009.

KNEIPP, R. B. **O estado da arte na utilização de drones para inspeção naval e offshore**. Rio de Janeiro, Universidade Federal do Rio de Janeiro (Monografia de Graduação), 2018.

LIKERT, R. **A Technique for the Measurement of Attitudes**. Archives of Psychology, v. 140, p. 1-55, 1932.

LIMA, A. R. **Análise e Gestão dos Riscos das Ocupações de faixa de Passagem das Linhas de Transmissão. Estudo de Caso da Vila Alta tensão**. Ouro Preto: NUGEO/UFOP. (Dissertação de Mestrado), 2012.

LIU, Z. WANG, X. LIU, Y. **Application of unmanned aerial vehicle hangar in transmission tower inspection considering the risk probabilities of steel towers**.

IEEE, 2019. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8888184>. Acesso em: 23 de setembro de 2022.

MARTINS, R. **Desenvolvimento de isolador polimérico inteligente**. Tese de Doutorado. Departamento de Engenharia e Ciências dos Materiais. Universidade Federal do Paraná – UFPR. 2015.

MARX, K. **O 18 de brumário de Luís Bonaparte**. São Paulo: Ed. Boitempo, 2011.

NASCIF, J; DORIGO, L. C. **Manutenção orientada para resultados**. Rio de Janeiro: Qualymark Editora, 2013.

NEWPORT, R. **Improving electrical system reliability with infrared thermography: Part 1**. Electricity Today; Journal Volume: 11, Canada, 1999. Disponível em: [www.geocities.ws/aghanimr/pdffiles/IRThermaphy.PDF](http://www.geocities.ws/aghanimr/pdffiles/IRThermaphy.PDF). Acesso em: 31 de maio de 2022.

NIGRI, A. I. **Desempenho de Linhas de Transmissão. Ponto de Vista da Manutenção**. XV-SNPTEE – Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 1999.

NOÉ, J. L. J. **Estimativa dos esforços dinâmicos de fadiga em cabos condutores de energia utilizando variações da relação de Poffenberger-Swart**. Brasília, Universidade de Brasília (Projeto de Graduação), 2018.

ONS. **O sistema em números**. Disponível em: <http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/o-sistema-em-numeros>. Acesso em: 15 de novembro de 2021a.

ONS. **Resultados da Operação: qualidade do suprimento. 2021**. Disponível em: <http://www.ons.org.br/Paginas/resultados-da-operacao/qualidade-do-suprimento-paineis.aspx>. Acesso em: 15 de novembro de 2021b.

ONS. **Mapas para Download**. Disponível em: <http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/mapas>. Acesso em: 26 de maio de 2022a.

ONS. **Qualidade do suprimento**. Disponível em: <http://www.ons.org.br/paginas/resultados-da-operacao/qualidade-do-suprimento>. Acesso em: 17 de maio de 2022b.

ONS. **Mapa dinâmico do SIN**. Disponível em: <http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/mapas>. Acesso em: 17 de maio de 2022c.

OROSKI, E. **Identificação de falhas em espaçadores de linhas de transmissão utilizando visão estéreo e redes neurais artificiais**. Brasília, Universidade de Brasília (Dissertação de Mestrado), 2011.

PARANÁ. Lei 20.081, de 18 de dezembro de 2019. **Estabelece limites para o plantio de árvores exóticas e nativas próximas a linhas e redes de distribuição de energia elétrica**. Curitiba, 2019.

PLP. **Energia**. Disponível em: <http://plp.com.br/energia/transmissao/suspensao-ancoragem-e-suporte/grampo-de-suspensao-cushion-grip-cgs/>. Acesso em: 30 de maio de 2022.

POSITRON. **Positron high voltage live line testers for porcelain & polymeric composite insulators**. Disponível em: [https://www.positronpower.com/Positron\\_Isulator\\_Testers/testers.php](https://www.positronpower.com/Positron_Isulator_Testers/testers.php). Acesso em: 04 de outubro de 2022.

PPC SANTANA. **Perfil da empresa**. Disponível em: <https://ppcinsulators-santana.com/sobre-a-ppc-santana/>. Acesso em: 30 de maio de 2022.

PROSDOCIMO, N; MOKDESE, H. **Linhas de transmissão urbanas compactas em 69 kv para circuito duplo novas soluções utilizadas pela copel na transmissão de energia elétrica em áreas urbanas**. XVI-SNPTEE – Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, Campinas, SP, Brasil, 2001.

PwC. **CLARITY FROM ABOVE**. PwC global report on the commercial applications of drone technology, 2016. Disponível em: <https://www.pwc.pl/pl/pdf/clarity-from-above-pwc.pdf>. Acesso em: 25 de maio de 2022.

RESENDE, G. V. **Segurança na manutenção de linhas de alta tensão**. XVI Seminário Nacional de Telecomunicações – APTEL / PETROBRAS, Rio de Janeiro, RJ, 2017.

RIBEIRÃO PRETO TRANSMISSORA DE ENERGIA. **RIMA – Relatório de Impactos Ambientais das Linhas de Transmissão 500kV São Simão – Marimbondo – Ribeirão Preto**. Biodinâmica Rio Engenharia Consultiva, 2007.

ROCHA, E. O. **Análise das inspeções de três linhas de transmissão 500kVCA: um estudo de caso com foco em custos de manutenção e perda de receita**. Medianeira, Universidade Tecnológica Federal do Paraná (Monografia), 2014.

SCHWAB, K. **A quarta revolução Industrial**. São Paulo: Edipro, 2016.

SEMENSATO, L. F. G. **Panorama e diretrizes das principais técnicas de inspeção terrestre em linhas de transmissão de energia elétrica de rede básica**. Rio de Janeiro, Universidade Federal do Rio de Janeiro (Monografia para MBA), 2015.

SEMENSATO, L. F. G.; AUGUSTO, F. C. N; ALARCON, A. R.; OLIVEIRA, J. **A principais técnicas, instrumentos e treinamentos para inspeção em linhas de transmissão de energia elétrica da rede básica**. 35º Congresso Brasileiro de Manutenção e Gestão de Ativos, Evento On Line, Brasil, 2020.

SOUZA, A.C.V. **Manutenção Centrada em Confiabilidade Aplicada à Gestão de Linhas Transmissão Localizadas em Áreas de Ocupação Irregular de Faixa**. Paraíba, Universidade Federal de Campina Grande (Dissertação de Mestrado), 2014.

VERISSIMO, A. H. **A experiência da COSERN com inspeções aéreas em linhas de distribuição em 69kv utilizando veículos aéreos não tripulados**. XXII Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica, Curitiba, PR, 2016.

WALE, P. B. SANDEEP, K. **Maintenance of transmission line by using robot.** International Conference on Automatic Control and Dynamic Optimization Techniques (ICACDOT) International Institute of Information Technology (I<sup>2</sup>IT), Pune, India, 2016. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7877643>. Acesso em: 21 de abril de 2022.

## APÊNDICE A – Questionário de pesquisa



### **Pesquisa sobre a utilização de drones em inspeções de linhas de transmissão em locais de difícil acesso.**

Prezado profissional que atua em linhas de transmissão, sabe-se da importância do seu trabalho na manutenção de linhas de transmissão, sendo as inspeções parte crucial desta atividade, como ação preventiva.

A sua participação na pesquisa a seguir é de grande valia para identificar as potencialidades e fragilidades da tecnologia dos drones na atividade de inspeções.

O preenchimento não leva mais que 4 minutos, e os dados coletados por meio deste instrumento de pesquisa são anônimos, sigilosos e protegidos contra a utilização por pessoas não autorizadas.

Este questionário tem por objetivo contribuir para o Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) de Engenharia Elétrica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) do aluno Thiago de Andrade Pinto, orientado pelo Professor Dr. Marcelo Rodrigues.

Caso tenha alguma dúvida, por favor, contate-nos através do e-mail: [thiagopinto@alunos.utfpr.edu.br](mailto:thiagopinto@alunos.utfpr.edu.br) ou [marcelor@utfpr.edu.br](mailto:marcelor@utfpr.edu.br).

Desde já agradecemos a sua compreensão e colaboração!

---

\*Obrigatório

**1) A quanto tempo você trabalha com manutenção de linhas de transmissão? \***  
*Marcar apenas uma oval.*

- 1 – 5 anos
- 6 – 10 anos
- 11 – 15 anos
- Mais de 15 anos

**2) Você atua em qual segmento do setor elétrico? \***  
*Marcar apenas uma oval.*

- Geração
- Transmissão
- Distribuição
- Outro: \_\_\_\_\_

**3) Você trabalha em uma empresa:**  
*Marcar apenas uma oval.*

- Pública
- Pública de economia mista
- Privada
- Prestadora de serviços (terceirizada)
- Outro:

**4) Você atua em qual região do Brasil?**  
*Marque todas que se aplicam.*

- Norte
- Nordeste
- Centro
- Oeste
- Sudeste
- Sul

**5) Qual nível de tensão você realiza(ou) manutenções ou inspeções: \***  
*Marque todas que se aplicam.*

- Baixa tensão ( $\leq 13,8$  kV)
- Média tensão ( $\geq 13,8$  kV e  $\leq 34$  kV)
- Alta tensão A3/A2 ( $\geq 69$  kV e  $\leq 138$  kV)
- Alta tensão A1 ( $\geq 230$  kV)

**6) Você já participou de inspeções (patrulha de inspeção) de linhas de transmissão? \***

*Marcar apenas uma oval.*

- Sim
- Não

**7) Qual tipo de inspeção (patrulha) você já participou: \***

*Marque todas que se aplicam.*

- Patrulha terrestre (observação a partir do chão/solo dos dispositivos: torre, isoladores, cabos, separadores e entre outros).
- Patrulha terrestre com escalada (observação a partir da escaldada da estrutura da torre de transmissão).
- Patrulha aérea com o uso de helicóptero
- Patrulha aérea com o uso de drones.
- Outro: \_\_\_\_\_

**8) O que você classificaria como local de difícil acesso: \***

*Marque todas que se aplicam.*

- Serra do Mar ou montanhas em
- geral Grandes centros urbanos
- Áreas de servidão ocupadas de forma irregular
- Áreas de preservação ambiental, reservas entre outras
- Áreas alagadas, rios, lagos, igapós, igarapés
- Outro:

**9) Você já fez uso da tecnologia de drones durante inspeções de Linhas de Transmissão? \***

*Marcar apenas uma oval.*

Sim

Não

**Em relação a importância do DRONE durante as inspeções em LT:**

(1) discordo totalmente; (2) discordo em partes; (3) indiferente; (4) concordo em partes; (5) concordo totalmente

**10) Redução do tempo de inspeção. \***

*Marcar apenas uma oval.*

	1	2	3	4	5	
	<input type="radio"/>					
Discordo totalmente						Concordo totalmente

**11) Redução dos riscos de acidentes de trabalho com os profissionais de LT. \***

*Marcar apenas uma oval.*

	1	2	3	4	5	
	<input type="radio"/>					
Discordo totalmente						Concordo totalmente

**12) Entrada em locais de difícil acesso. \***

*Marcar apenas uma oval.*

	1	2	3	4	5	
	<input type="radio"/>					
Discordo totalmente						Concordo totalmente

**13) Maior possibilidade de coleta de imagens da LT \***

*Marcar apenas uma oval.*

	1	2	3	4	5	
<hr/>						
	<input type="radio"/>					
Discordo totalmente						Concordo totalmente
<hr/>						

**14) Qualidade da inspeção de modo geral \***

*Marcar apenas uma oval.*

	1	2	3	4	5	
<hr/>						
	<input type="radio"/>					
Discordo totalmente						Concordo totalmente
<hr/>						

**15) Redução dos impactos ambientais \***

*Marcar apenas uma oval.*

	1	2	3	4	5	
<hr/>						
	<input type="radio"/>					
Discordo totalmente						Concordo totalmente
<hr/>						

**16) Redução dos custos da inspeção \***

*Marcar apenas uma oval.*

	1	2	3	4	5	
<hr/>						
	<input type="radio"/>					
Discordo totalmente						Concordo totalmente
<hr/>						

**17) Detecção de anomalias na LT de forma mais eficaz \***

*Marcar apenas uma oval.*

	1	2	3	4	5	
<hr/>						
	<input type="radio"/>					

Discordo totalmente

Concordo totalmente

**Dentre as dificuldades do uso da tecnologia dos DRONES durante as inspeções em**

**LT:**

(1) discordo totalmente; (2) discordo em partes; (3) indiferente; (4) concordo em partes; (5) concordo totalmente

**18)As empresas não investem em treinamento adequado \***

*Marcar apenas uma oval.*

	1	2	3	4	5		
<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>							
Discordo totalmente							Concordo totalmente

**19)Restrições impostas pela ANAC (Agência Nacional de Aviação Civil) para uso dos Drones. \***

*Marcar apenas uma oval.*

	1	2	3	4	5		
<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>							
Discordo totalmente							Concordo totalmente

**20)Dificuldade de operação devido questões climáticas (ventos, chuva, outros).\***

*Marcar apenas uma oval.*

	1	2	3	4	5		
<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>							
Discordo totalmente							Concordo totalmente

**21)Falta de interesse das empresas para adquirir a tecnologia dos Drones. \***

*Marcar apenas uma oval.*

	1	2	3	4	5		
<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>							
Discordo totalmente							Concordo totalmente

---

**22)Custo elevado de aquisição e manutenção dos Drones. \***

*Marcar apenas uma oval.*

	1	2	3	4	5	
	<input type="radio"/>					
Discordo totalmente						Concordo totalmente

---

**23)Dificuldade no tratamento dos dados (imagens) coletadas pelo Drone. \***

*Marcar apenas uma oval.*

	1	2	3	4	5	
	<input type="radio"/>					
Discordo totalmente						Concordo totalmente

---

**24)Comentários ou demais sugestões:**

---

**25)Caso você deseje receber o resultado desta pesquisa, por favor insira seu e-mail:**

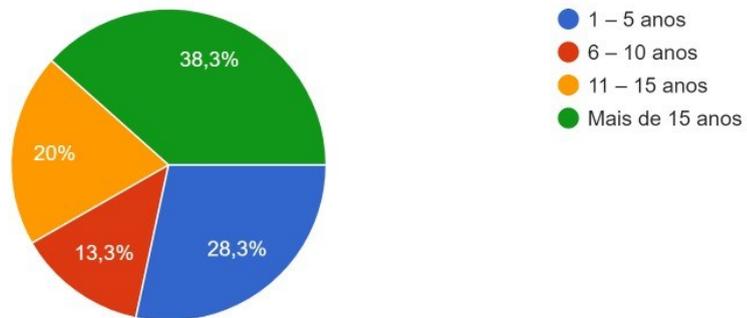
Este conteúdo não foi criado nem  
aprovado pelo Google.

Google Formulários

## APÊNDICE B – Resultado bruto do questionário

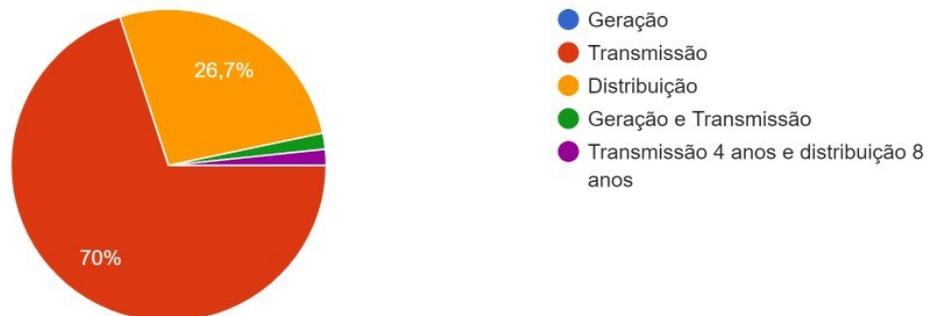
A quanto tempo você trabalha com manutenção de linhas de transmissão?

60 respostas



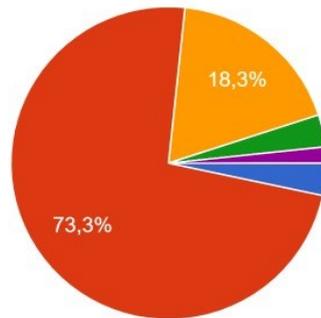
Você atua em qual segmento do setor elétrico?

60 respostas



### Você trabalha em uma empresa:

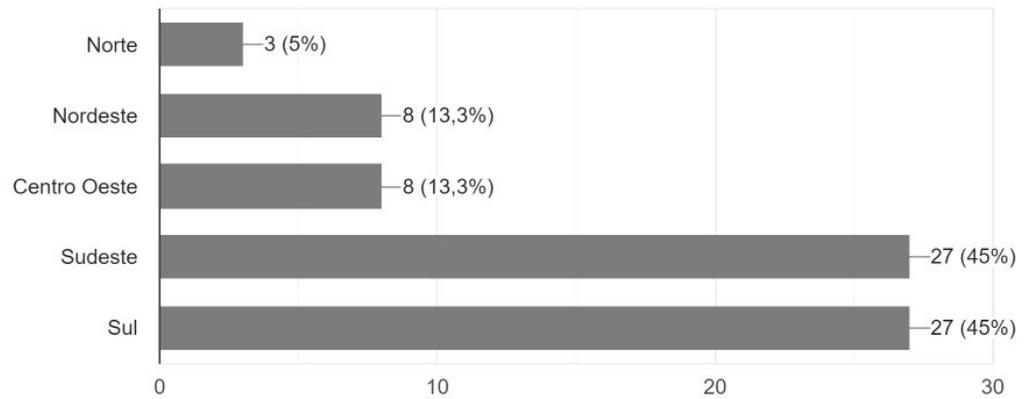
60 respostas



- Pública
- Pública de economia mista
- Privada
- Prestadora de serviços (terceirizada)
- Era pública de economia mista e foi privatizada 2 meses atrás.

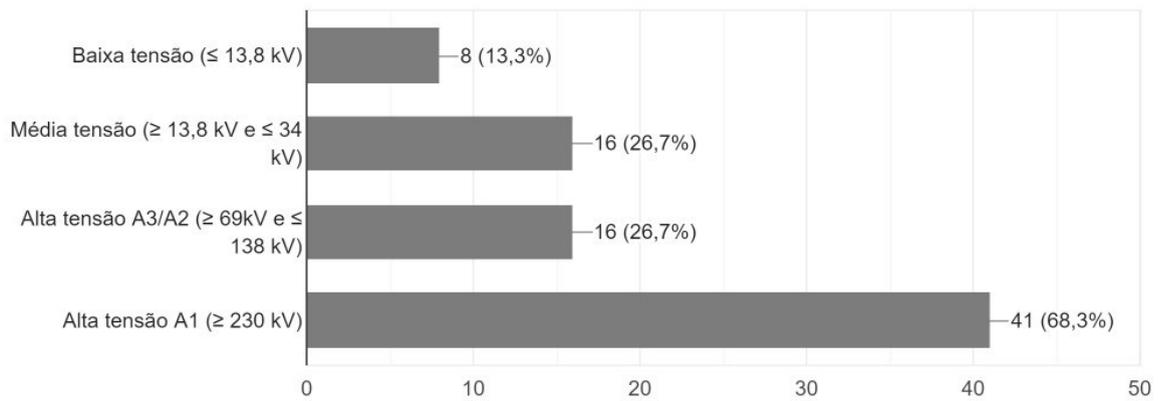
### Você atua em qual região do Brasil?

60 respostas



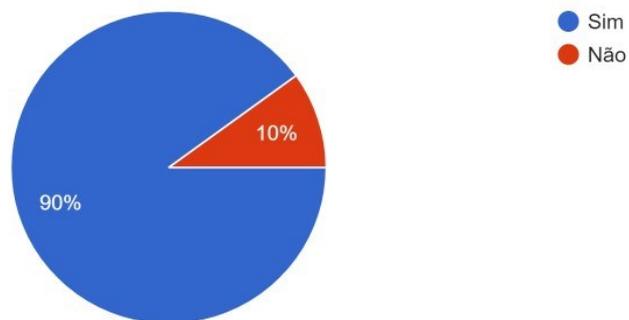
Qual nível de tensão você realiza(ou) manutenções ou inspeções:

60 respostas



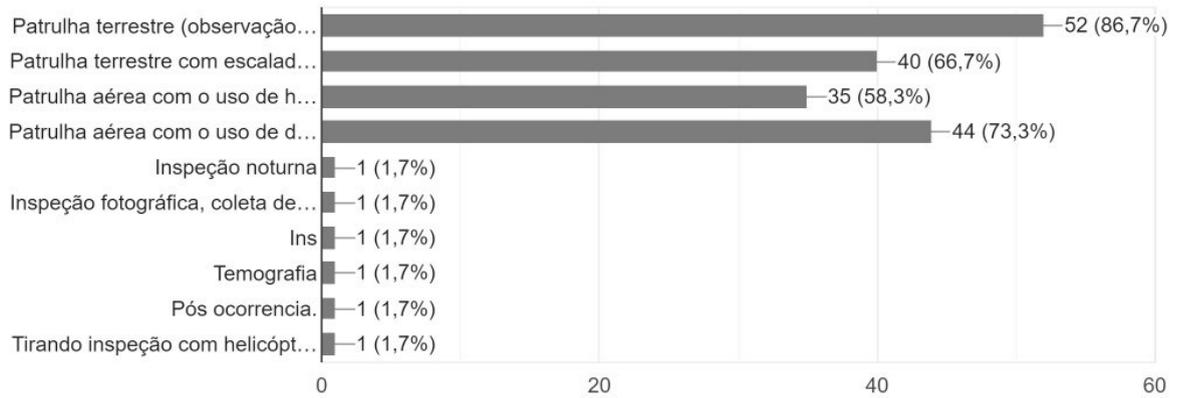
Você já participou de inspeções (patrulha de inspeção) de linhas de transmissão?

60 respostas



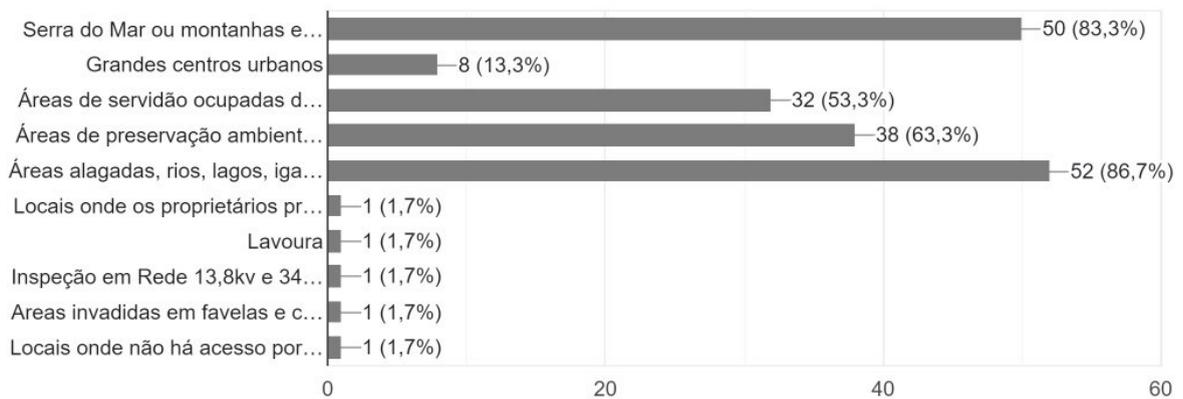
### Qual tipo de inspeção (patrulha) você já participou:

60 respostas



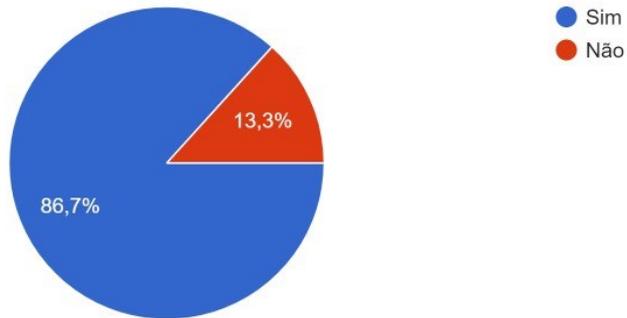
### O que você classificaria como local de difícil acesso:

60 respostas



Você já fez uso da tecnologia de drones durante inspeções de Linhas de Transmissão?

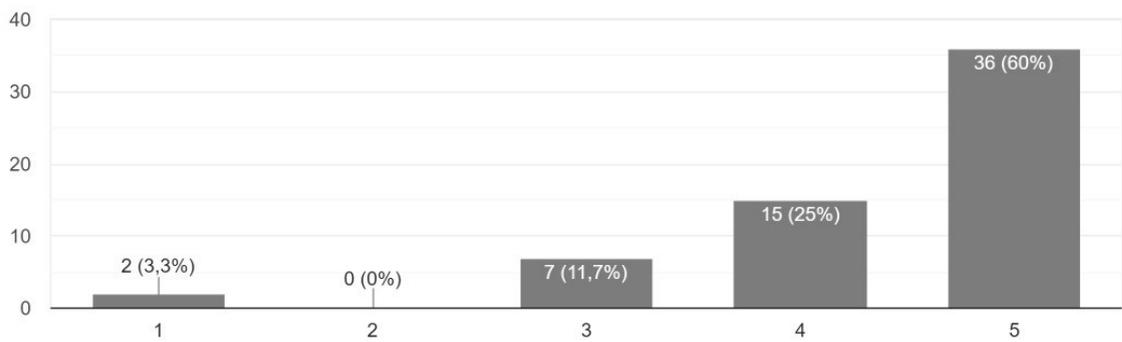
60 respostas



Em relação a **importância** do DRONE durante as inspeções em LT:

Redução do tempo de inspeção.

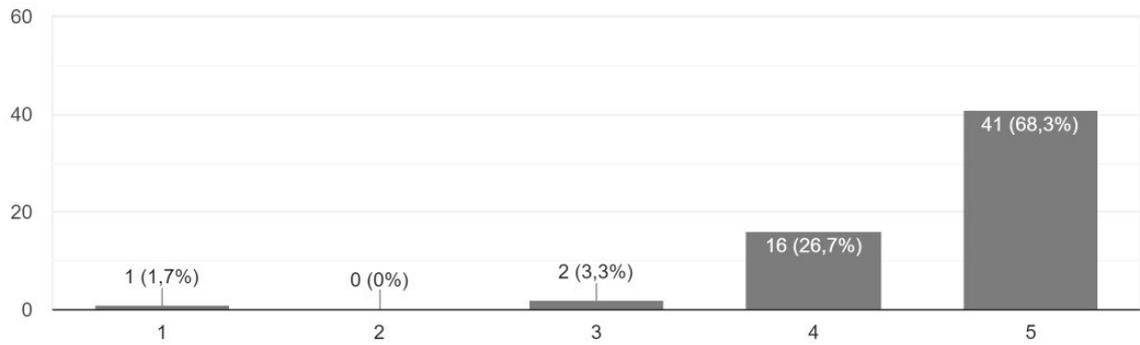
60 respostas



Em relação a **importância** do DRONE durante as inspeções em LT:

Redução dos riscos de acidentes de trabalho com os profissionais de LT.

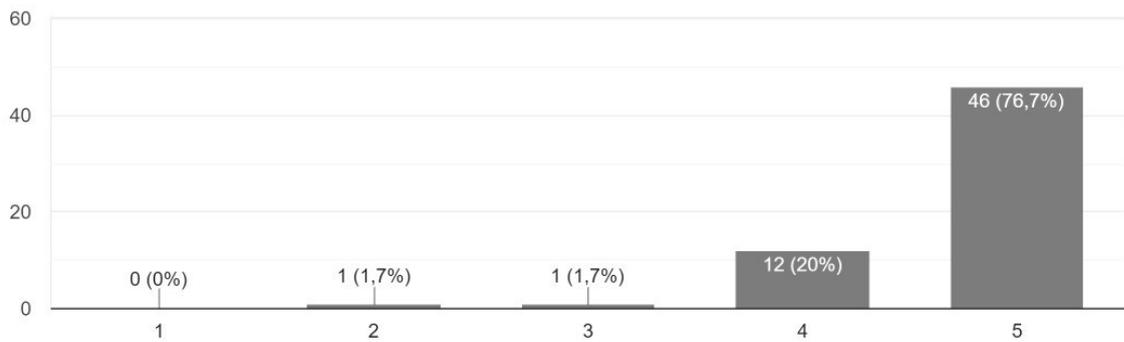
60 respostas



Em relação a **importância** do DRONE durante as inspeções em LT:

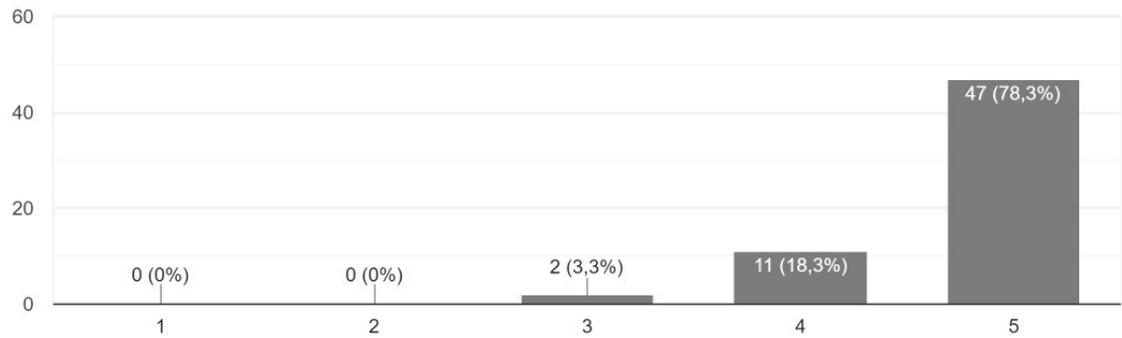
Entrada em locais de difícil acesso.

60 respostas

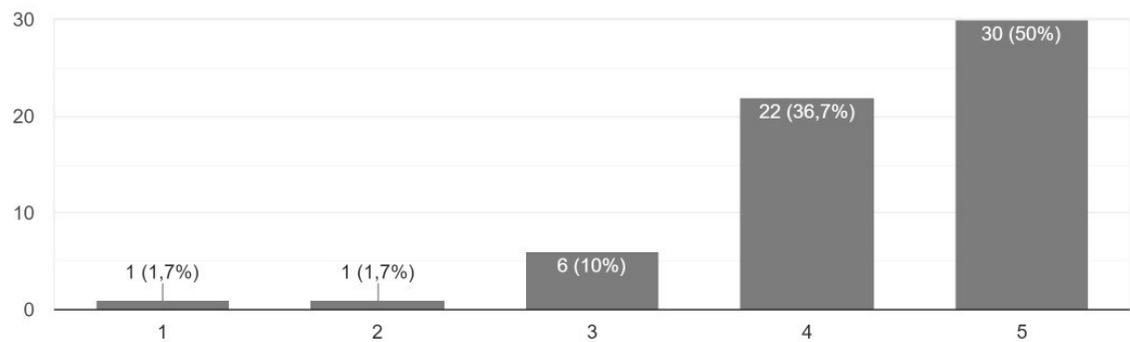


**Em relação a importância do DRONE durante as inspeções em LT:****Maior possibilidade de coleta de imagens da LT**

60 respostas

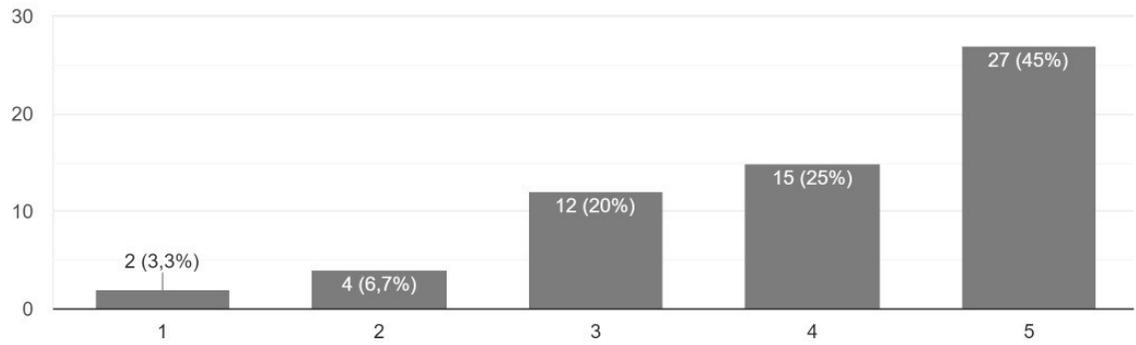
**Em relação a importância do DRONE durante as inspeções em LT:****Qualidade da inspeção de modo geral**

60 respostas

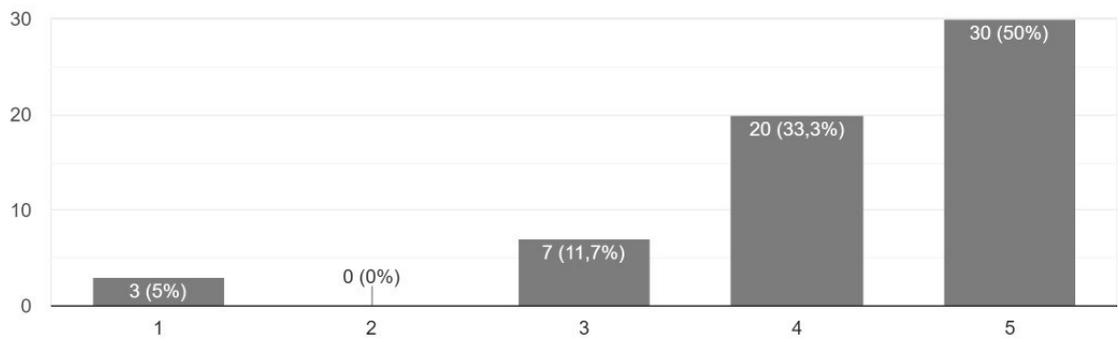


**Em relação a importância do DRONE durante as inspeções em LT:****Redução dos impactos ambientais**

60 respostas

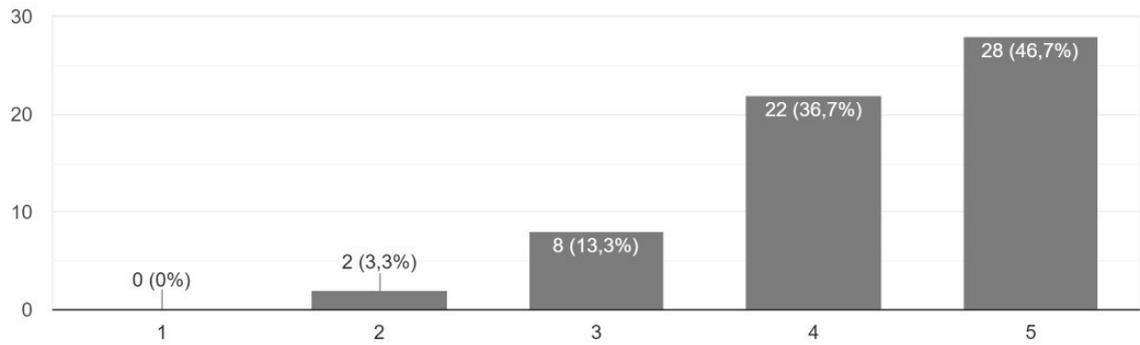
**Em relação a importância do DRONE durante as inspeções em LT:****Redução dos custos da inspeção**

60 respostas

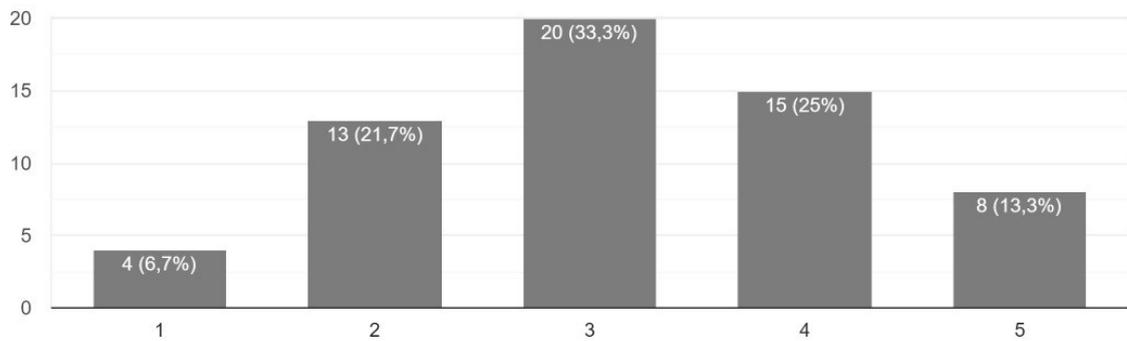


**Em relação a importância do DRONE durante as inspeções em LT:****Detecção de anomalias na LT de forma mais eficaz**

60 respostas

**Dentre as dificuldades do uso da tecnologia dos DRONES durante as inspeções em LT:****As empresas não investem em treinamento adequado**

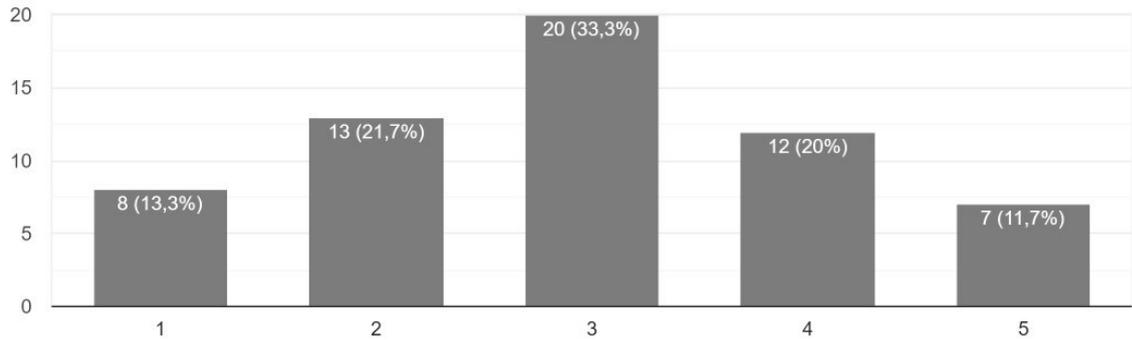
60 respostas



Dentre as **dificuldades** do uso da tecnologia dos DRONES durante as inspeções em LT:

Restrições impostas pela ANAC (Agência Nacional de Aviação Civil) para uso dos Drones.

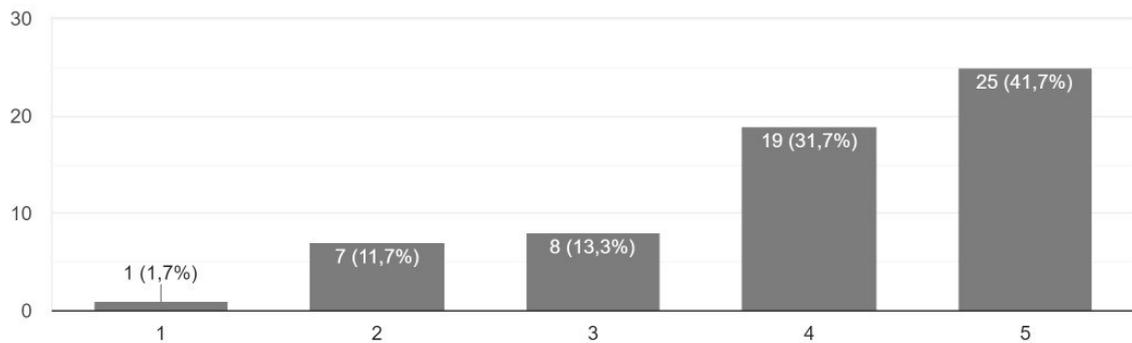
60 respostas



Dentre as **dificuldades** do uso da tecnologia dos DRONES durante as inspeções em LT:

Dificuldade de operação devido questões climáticas (ventos, chuva, outros)

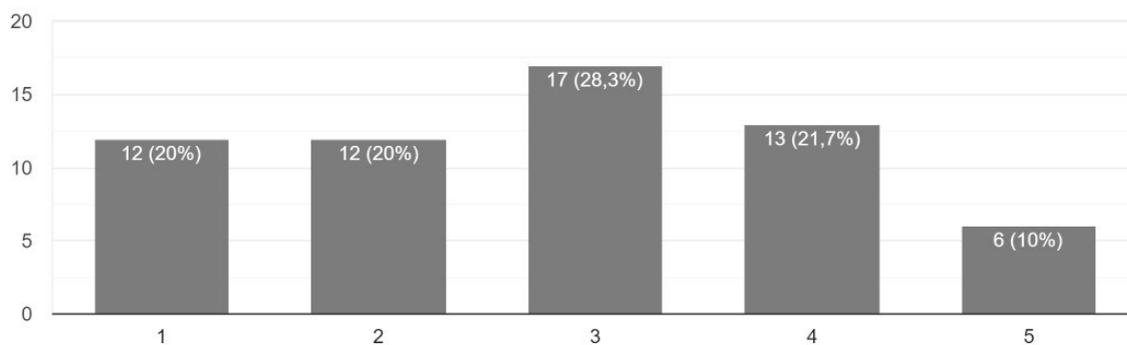
60 respostas



**Dentre as dificuldades do uso da tecnologia dos DRONES durante as inspeções em LT:**

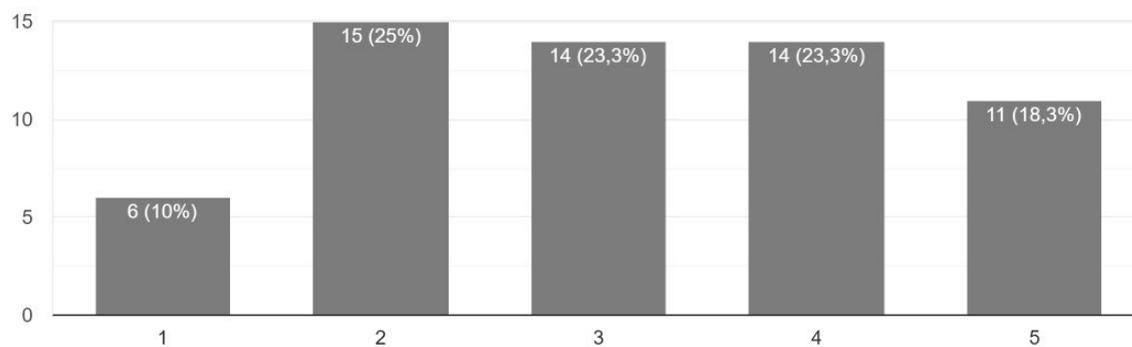
Falta de interesse das empresas para adquirir a tecnologia dos Drones.

60 respostas

**Dentre as dificuldades do uso da tecnologia dos DRONES durante as inspeções em LT:**

Custo elevado de aquisição e manutenção dos Drones.

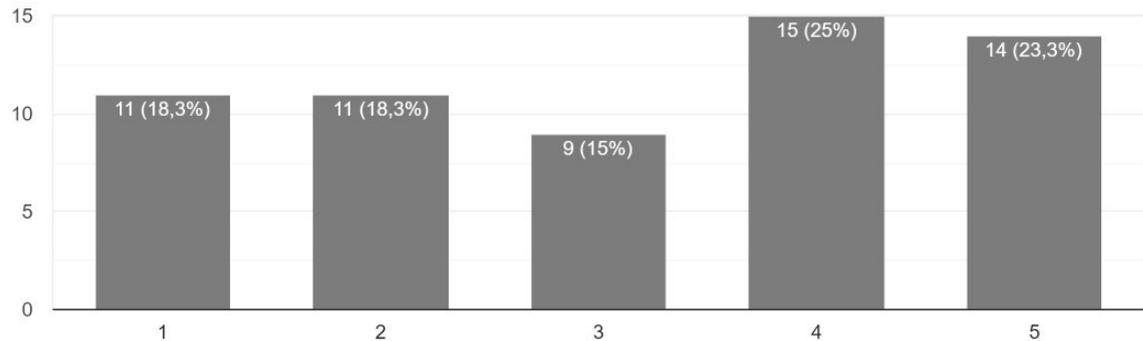
60 respostas



### Dentre as dificuldades do uso da tecnologia dos DRONES durante as inspeções em LT:

Dificuldade no tratamento dos dados (imagens) coletadas pelo Drone.

60 respostas



1) Com a disseminação da tecnologia do drone, o custo tem reduzido e agregado novas funcionalidades.

2) O investimento deve compensar, mas hoje não compensa. Falta autonomia, baixo tempo de voo, muita recarga de bateria, necessário mais tempo de voo, maior qualidade de imagens e nuvens de pontos.

3) Atualmente a maior dificuldade é o armazenamento dos dados..

4) O maior desafio é na área de processamento das imagens para detecção de falhas e identificação de componentes. Para isso é necessária uma rede neural treinada ou aplicar filtros digitais para extrair informações importantes das imagens que o drone faz aquisições.

5) A utilização do drone é excelente na questão dos isoladores e jumpers mas na parte das estruturas da torres, ainda não encontramos um método eficiente de identificar anormalidades (ausência de parafuso, ausência de pall nuts...).

6) Tratamento de informação ainda é um gargalo

7) As regras dos órgãos reguladores brasileiros são as mais eficientes no mundo hoje em dia. Falta uma política melhor na questão da qualificação dos pilotos quanto a legislação vigente e de uma fiscalização mais ostensiva para os casos de usos irregulares. Ministro cursos onde deixo essas questões bem claros para os alunos. Trabalhei com as primeiras turmas de pilotos de drone dentro da Empresa XXXX, no Estado de XXXXX, e o foco era sempre o uso consciente da ferramenta deixando claro o cumprimento da legislação. O uso em outros ativos do Sistema Elétrico de Potencia (subestações, usinas hidrelétricas, fotovoltaicas e eólicas). também são eficientes. Participo de um comitê junto a ABNT onde estamos discutindo e estabelecendo, por consenso, regras, diretrizes ou características para normalização no campo de Aeronaves não Tripuladas.

- 8) Dificuldade pós gerenciamento da quantidade de imagens e vídeos obtidos.
- 9) Drone reduziu em torno de 50% do nosso Hh em inspeções de faixa, terrestre com subida e inspeção de religamento automático
- 10) Boa tecnologia proporcionando ângulos de imagem diferentes da subida (por fora da estrutura) e complementares em caso de situações de difícil análise, propícia para casos de bom estado de estruturas e vãos (inspeções de rotina), ótimo para primeira inspeção e se necessário completar com subida. Dificuldade de análise em tempo real, exige bons acessórios como Tablets e abrigo da claridade do campo. Facilita inspeções de urgência e emergência em locais de difícil acesso, principalmente em atendimento de falhas.
- 11) Outro ponto negativo: baixa autonomia das baterias.
- 12) Eu só uso o drone em caso específico de difícil acesso, a sua bateria tem a duração de 20 minutos em uma linha de transmissão de 200km e impossível fazer inspeção poste a poste.
- 13) "A tecnologia veio pra somar com o setor elétrico, só temos vantagens com as inovações, o custo acaba se tornando barato para tal importância do SIN. "
- 14) Fazer inspeção com drone é muito bem melhor no lugar difícil acesso onde tem montanhas tem áreas alagadas